



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ
A ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

PŘÍSPĚVEK K DIAGNOSTICE VÝKONOVÝCH OLEJOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ

CONTRIBUTION TO THE DIAGNOSIS OF POWER OIL TRANSFORMERS

DOKTORSKÁ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ING. MARTINA ŠIMKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. MILOŠ HAMMER, CSC.

BRNO 2010

Abstrakt:

Disertační práce se zabývá diagnostikou výkonových olejových transformátorů. Je rozdělena do dvou částí, a to na část teoretickou a praktickou.

Teoretická část se nejprve zabývá obecným popisem transformátoru a jeho zapojením. Důraz je zde kladen z hlediska životnosti transformátoru na jeho izolační systém (olej-papír). Dále je rozebrána technická diagnostika. Zde jsou popsány veličiny plynové chromatografie, stavu oleje a stavu izolace vodičů. Další důležitou část tvoří expertní systém, který je tu obecně popsán od historie po současnost. Jsou zde zmíněny charakteristické rysy, typy a struktury expertních systémů, dále jeho výhody a nevýhody.

Praktická část práce začíná popisem datového souboru, který je dále používán. Vlastní praktická část je rozdělena na tři hlavní části, a to na výsledky plynové chromatografie, vybrané ostatní výsledky a expertní systémy. V části nazvané „Výsledky plynové chromatografie“ se nachází rozbor vybraných vlastností časových řad a rozbor teplotní závislosti plynů. Dále pak jsou zde popsány vybrané metody poměrů plynů jako např. metoda Duvalova trojúhelníku. Druhá část nazvaná „Vybrané ostatní výsledky“ obsahuje časovou závislost veličin a čísla kyselosti. Dále pak závislosti průrazného napětí, a to závislosti na čase, plynech a obsahu vody v izolačním oleji. Nachází se zde ještě teplotní závislost obsahu vody rozpuštěné v izolačním oleji a v také výsledky vybraných korelací, jako např. korelace veličin plynové chromatografie s veličinami stavu izolace vodičů. Poslední část „Expertní systémy“ uvádí konkrétní informace o vytvořeném expertním systému. Je zde popsáno zvolené prostředí pro jeho tvorbu, následuje popis, vlastnosti a ověření expertního systému, a to včetně ukázky výsledků konzultací. Všechny dosažené výsledky jednotlivých částí jsou vždy shrnuty na závěr příslušné části.

Součástí disertační práce je kapitola „Cíle práce“ a „Závěr“. Nejdůležitější kapitolou je „Přínos práce“. Obsahuje původní výsledky práce a také výsledky použitelné v průmyslové praxi.

Abstract:

This dissertation thesis deals with the diagnostics of power oil transformer. It consists of the theoretical and practical part

At its beginning, the theoretical part deals with an general description of the transformer and its connection. Focus is given to aspects of the life of the transformer insulation system (oil-paper). Further, the technical diagnostics is analyzed, with description of quantities of gas-liquid chromatography, the oil condition and condition of conductor insulation. Another important part of the thesis consists of an expert system, which is described generally from the past to the present. Characteristics, types and structure of expert systems are mentioned here, with its advantages and disadvantages.

The practical part starts with a description of the data file, which is further used in the thesis. Main practical part is divided into three parts - the results of gas-liquid chromatography, selected results and expert systems. In the section entitled "Results of gas-liquid chromatography", there is an analysis of selected properties of time series and temperature dependency of gases. Moreover, the methods of the ratios of gases such as Duval Triangle method are described. The second part entitled "Selected other results" shows the time dependency of variables and the neutralization number, along with the breakdown voltage dependency, and time of dependency, gas and moisture content in insulating oils. There is also a temperature dependency of moisture content dissolved in insulating oil discussed, as well as results of selected correlations, such as the correlation values of gas chromatography with state variables insulation of wires. The last part, "Expert systems", provides specific information about developed expert system. It describes the environment chosen for its development, followed by a description, features and verification of the expert

system. Examples of the consultation results are included. All achievements of the individual parts are always summarized at the end of each section.

The thesis contains chapters "Objectives of the work" and "Conclusion". The most important chapter is "The contribution of the work." It contains original work results and the results applicable in industry.

Klíčová slova: výkonový olejový transformátor, diagnostika, papír, olej, plynová chromatografie

Key words: power oil transformer, diagnostics, paper, oil, gas-liquid chromatography

Bibliografická citace VŠKP:

ŠIMKOVÁ, M. *Příspěvek k diagnostice výkonových olejových transformátorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2010. 155 s. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Hammer M. ,CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji tímto, že jsem předloženou disertační práci vypracovala sama, s konzultační pomocí školitele. Použité literární prameny jsou uvedeny v odkazech.

V Brně dne:

Podpis:

Poděkování:

Děkuji školiteli Doc. Ing. Miloši Hammerovi, CSc. za jeho cenné rady a připomínky, které přispěly k napsání této disertační práce.

Obsah

Úvod.....	8
Cíle práce	10
1 Teoretická část.....	11
1.1 Transformátor.....	11
1.1.1 Obecný popis transformátoru	11
1.1.2 Zapojení transformátoru	14
1.1.3 Papír.....	15
1.1.4 Oleje	24
1.2 Technická diagnostika.....	26
1.2.1 Veličiny plynové chromatografie	27
1.2.2 Poměry plynů v diagnostice transformátorů.....	29
1.2.3 Veličiny stavu oleje	32
1.2.4 Veličiny stavu izolace vodičů.....	33
1.3 Expertní systémy	34
1.3.1 Historie expertních systémů	34
1.3.2 Současný stav expertních systémů	35
1.3.3 Charakteristické rysy	36
1.3.4 Typy expertních systémů.....	37
1.3.5 Struktura expertních systémů	38
1.3.6 Výhody a nevýhody expertních systémů.....	40
1.3.7 Softwarové prostředky.....	41
2 Praktická část	42
2.1 Popis datového souboru	42
2.2 Výsledky plynové chromatografie	45
2.2.1 Rozbor vybraných vlastností časových řad	45
2.2.2 Rozbor teplotní závislosti plynů.....	63
2.2.3 Vybrané metody poměrů plynů	79
2.2.4 Shrnutí výsledků.....	85
2.3 Vybrané ostatní výsledky	88
2.3.1 Časová závislost veličin	88
2.3.2 Časová závislost čísla kyselosti.....	99
2.3.3 Závislosti průrazného napětí.....	103
2.3.4 Teplotní závislost obsahu vody rozpuštěné v oleji.....	120
2.3.5 Výsledky vybraných korelací.....	122
2.3.6 Shrnutí výsledků.....	125
2.4 Expertní systém	127
2.4.1 Zvolené prostředky pro tvorbu expertního systému	127
2.4.2 Popis a vlastnosti expertního systému	128
2.4.3 Ověření expertního systému	135
2.4.4 Shrnutí výsledků.....	147
3 Přínos práce.....	148
Závěr	150
Přílohy	156

Úvod

Pro fungování a rozvoj společnosti je důležitá **bezporuchová distribuce a využívání elektrické energie**. Uvedená skutečnost je závislá ve značné míře na **výkonových olejových transformátorech**, které tvoří na cestě od výroby elektrické energie směrem ke spotřebiteli a u spotřebitele jeden z nejdůležitějších prvků.

V technickém životě transformátorů může dojít k různým **poruchám a haváriím**, rovněž transformátor přirozeně **stárne**. V případě poruchy nebo havárie transformátorů dojde k přerušení dodávky elektrické energie, což má celou řadu důsledků, jako např. značné škody v průmyslové výrobě, nefunkčnost infrastruktury, apod. Tyto škody mohou být i dlouhodobého charakteru. Často je havárie transformátorů spojena s výbuchem, požárem a i jinými možnými ekologickými škodami. V případě jaderných elektráren to může vést až k porušení radiační bezpečnosti. Rovněž je to i otázka ohrožení obyvatel v místě havárie nebo blízkém okolí. Ve světě jsou známé různé havárie transformátorů, kde číselné vyjádření škod a důsledků dosáhlo v jednotlivých případech i stovek miliónů korun.

V technickém životě transformátorů dochází k poruchám a haváriím z různých **příčin**. V tab. 1 jsou uvedeny příčiny poruch a relativní četnost jejich výskytu [5]

Tab. 1 Příčiny poruch

Příčina	Zasažený systém	Procentuální podíl
Chyba izolace	Izolační systém	26 %
Chyba výroby	Není specifikováno	24 %
Neznámá	Není specifikováno	16 %
Zkrat	Izolační systém /Elektrický obvod	7 %
Nesprávná údržba	Není specifikováno	5 %
Přetížení	Izolační systém	5 %
Kontaminace oleje	Izolační systém	4 %
Přetížení	Izolační systém /Mechanické části konstrukce	4 %
Požár/exploze	Izolační systém /Chladicí nádoba s příslušenstvím	3 %
Blesk	Izolační systém	3 %
Povodeň	Chladicí nádoba s příslušenstvím	2 %
Vlhkost	Chladicí nádoba s příslušenstvím	1 %

Z údajů vyplývá, že většina poruch a havárií vzniká v **izolačním systému**. V případě výkonových olejových transformátorů je izolační systém tvořen především **olejem a papírem (celulózou)**.

Izolační systém je tedy z hlediska bezpečnosti a spolehlivosti velmi významný. Současně jej nelze s rozumnými náklady vyměnit a je tedy vhodnější oprava (výměna) celého stroje.

Proces stárnutí transformátorů riziko poruch a havárií transformátorů samozřejmě zvyšuje. Z výše uvedeného vyplývá, že ze **společenského hlediska** je důležité se problematikou **stavu** transformátorů zabývat. Jakékoliv přerušení distribuce elektrické energie totiž přináší **značné i druhotné ztráty**.

V průmyslové praxi se jedná o velké množství transformátorů. Jak bylo uvedeno výše, je důležité **sledovat jejich stav**. Je tedy nutné se zabývat **životností i stárnutím** transformátorů a toto umět **řídit a vyhodnocovat**. Důležitá je také otázka **provozu a údržby transformátorů**, její plánování, **dále investiční rozhodování** o výměně transformátoru za nový stroj, a tedy celkové **ekonomické využití finančních prostředků**.

Současní provozovatelé výkonových transformátorů v České republice mají obvykle k dispozici transformátory starší než **30 let** a jejich štítková životnost je tedy již vyčerpána nebo bude vyčerpána v relativně krátkém časovém období. Transformátory by tedy měly být vyměněny, ale provozovatel obvykle nemá potřebné finanční prostředky k dispozici.

Rozhodovací problém manažera provozovatele transformátorů je obsažen v této formulaci:

má smysl koupit nový transformátor s lepšími technickými parametry nebo je výhodnější oddálit nákup s tím, že budeme investovat do technologií, které zvýší spolehlivost a životnost stávajícího transformátoru.

Bylo výše konstatováno, že je důležité umět skutečnosti spojené se spolehlivostí transformátorů vyhodnocovat. V současné době se k tomuto účelu používá vhodných **diagnostických systémů**. Tyto jsou ve světě na různé kvalitativní úrovni. Je skutečností, že v České republice je této problematice věnována až poslední dobou zvýšená pozornost. To se odráží i v úrovni stavu těchto systémů, která však není příliš vysoká. Obecně každý diagnostický systém je více či méně založen na využití umělé inteligence. Jedná se především o využití různých **expertních systémů**.

Předkládaná **disertační práce** vychází z výše uvedených skutečností a je **příspěvkem** ke snahám řešit **spolehlivost transformátorů**. Protože je obecně naznačená problematika značně široká, není možné tuto postihnout komplexně v jedné práci. Proto byly vybrány a řešeny jen některé **dílní problémy**, které souvisí vzhledem k **zaměření školícího pracoviště s diagnostikou**. V České republice je na několika pracovištích věnována pozornost teorii diagnostických metod, proto předkládaná disertační práce si již této problematiky nevšímá. Spíše **byl zvolen netradiční, málo používaný a ne mnoho publikovaný přístup**. Disertační práce vychází z popisu obecného transformátoru se zaměřením na vlastnosti nejdůležitějších částí, které ovlivňují spolehlivost a životnost, tedy na **izolační systém olej-papír**. Dále práce podrobně rozebírá a hodnotí veličiny **plynové chromatografie, poměry plynů v diagnostice transformátorů, veličiny stavu oleje a veličiny stavu izolace vodičů**. Právě posledně jmenované je řešeno jen okrajově, neboť i této problematice je u nás a ve světě věnována značná pozornost. Velký důraz je také kladen na **tvorbu základů diagnostického systému** ve formě **diagnostického expertního systému**. Je to rovněž způsobeno zaměřením školícího pracoviště, kde se uvedené zvláště v poslední době intenzivně rozvíjí.

Důraz v celé práci je kladen na využití dat z diagnostických šetření na **konkrétních transformátorech**, které pracují v **energetickém provozu** v České republice.

Cíle práce

Na základě **analýzy současného stavu** řešené problematiky v České republice a ve světě [5], [8], [11], [32], [33], [34], [35], [40], [41], [45], [46], [47] lze **cíle předkládané disertační práce** shrnout do následujících bodů:

- Specifikovat příčiny poruch a zasažený systém u výkonových olejových transformátorů
- Podrobně popsat základní vlastnosti izolačního systému olej-papír u transformátorů
- Vytvořit seznam současně v průmyslové praxi používaných diagnostických metod
- Rozdělit diagnostické veličiny dle vhodnosti pro diagnostiku izolačního systému olej-papír
- Podrobně popsat veličiny používané v současné době v plynové chromatografii
- Rozebrat poměry plynů a jejich vhodnost pro diagnostiku transformátorů
- Popsat veličiny, které by byly vhodné pro diagnostiku stavu oleje transformátorů
- Popsat veličiny, které by byly vhodné pro diagnostiku stavu izolace vodičů transformátorů
- Teoreticky popsat expertní systémy
- Prakticky vyhodnotit a rozebrat výsledky plynové chromatografie na souboru dat z diagnostických šetření na konkrétních transformátorech
- U vybraných transformátorů popsat časové průběhy plynů na základě chemických reakcí
- Prakticky vyhodnotit a rozebrat výsledky diagnostických veličin pro diagnostiku stavu oleje na souboru dat z diagnostických šetření na konkrétních transformátorech
- Zaměřit se na výsledky korelací diagnostických veličin na souboru dat z diagnostických šetření na konkrétních transformátorech
- Vytvořit diagnostický expertní systém, který by byl i vhodný pro samostatnou diagnostiku stavu transformátorů
- Ověřit vytvořený diagnostický expertní systém, který by byl i vhodný pro samostatnou diagnostiku stavu transformátorů
- V disertační práci uvést konkrétní konzultaci expertního systému

1 Teoretická část

1.1 Transformátor

V této kapitole je pozornost soustředěna nejprve na **obecný popis transformátoru**, kde jsou objasněny základní pojmy a rozdělení transformátorů. Zvláštní pozornost je také věnována **počtu vinutí transformátoru** a měření vlastností transformátorů dvojvinutových a trojvinutových. Jak bylo uvedeno v úvodu práce, většina poruch a havárií u transformátorů vzniká v jeho **izolačním systému**. Proto je dále podrobněji popsán **papír** z hlediska vlastností a degradace. Je také rozebrán **elektrotechnický papír** a **lepenka, lepenka pro transformátory** a větší prostor je věnován obecně **olejům** a **olejům transformátorovým**.

1.1.1 Obecný popis transformátoru

Transformátor patří mezi **elektrické netočivé stroje**. Slouží k transformaci napětí, proudu nebo počtu fází.

Transformátor je obecně **komplexní zařízení**, které **integruje do jednoho celku** několik **specializovaných funkčních systémů**. Jedná se především o tyto:

- Elektrický obvod (vinutí)
- Magnetický obvod (plechy – jádro)
- Izolační systém; olej, celulóza
- Chladicí nádoba s příslušenstvím
- Průchodky
- Přepínače odboček
- Mechanické části konstrukce
-

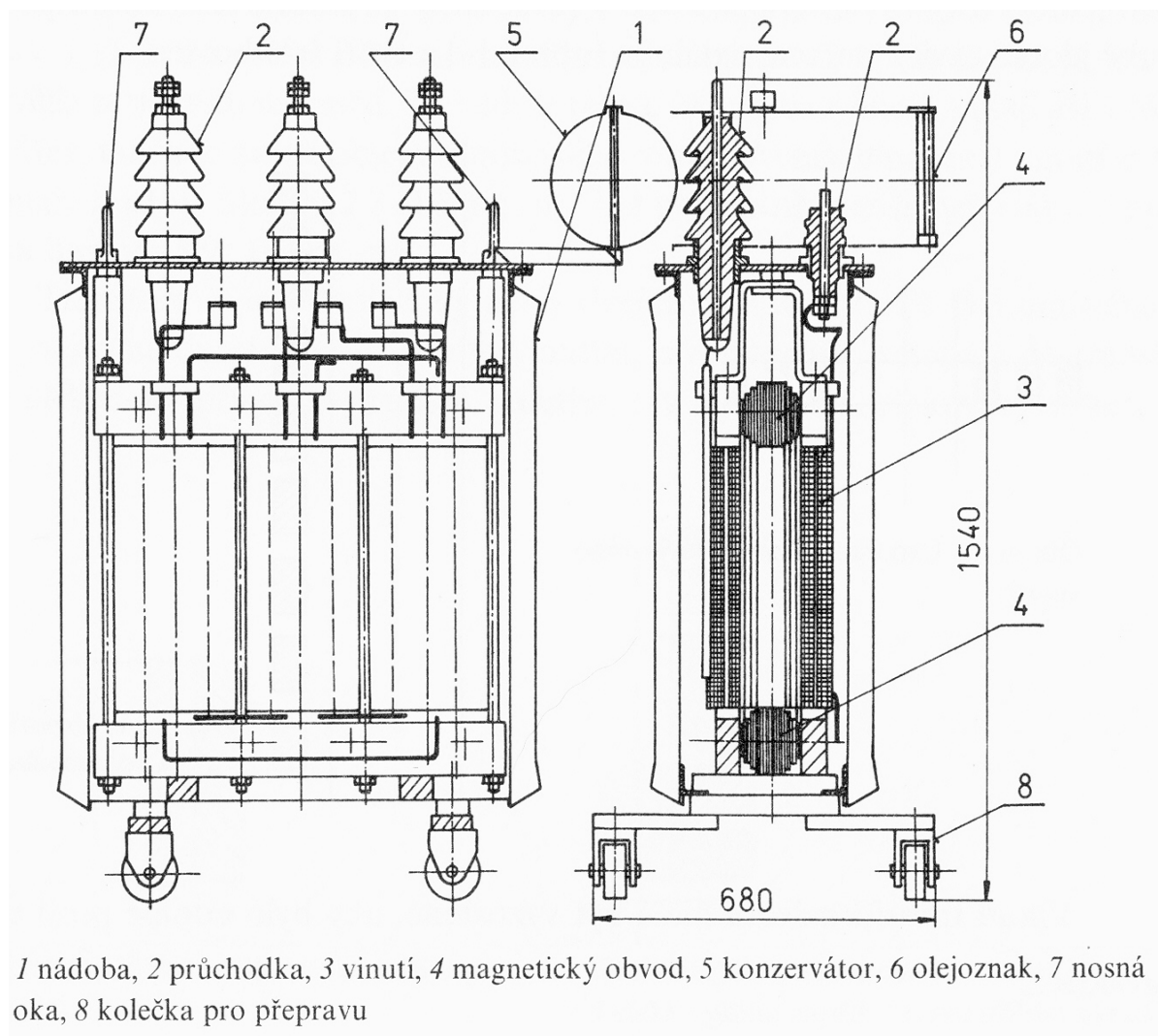
Každý z těchto funkčních systémů je ohrožen možností vzniku jemu vlastních **specifických poruch**.

Transformátory lze dle různých hledisek rozdělit:

- a) dle počtu fází:
 - jednofázový
 - **trojfázový**
 - speciální
- b) dle konstrukce magnetického obvodu:
 - plášťový
 - jádrový
 - toroidní
- c) dle chlazení aktivních částí
 - vzduchové
 - **olejové**
- d) dle počtu vinutí:
 - **dvojvinutový**
 - **trojvinutový**

- vícevinutový
- e) dle použití:

- **energetické**
- napájecí
- bezpečnostní
- rozptylový
- regulační
- měřicí



Obr. 1.1 Celkové sestavení transformátoru s nádobou [17]

Pro potřeby předkládané disertační práce je uvažován trojfázový **výkonový olejový transformátor** (dále jen transformátor), neboť jsou studovány vlastnosti transformátorů z **energetického provozu**. Příklady konstrukčního uspořádání trojfázových olejových transformátorů jsou na obr. , obr. a obr. .

Z hlediska vlastností transformátoru je také důležitý počet vinutí transformátoru, proto jejímu označení a měření vlasností je věnována zvláštní kapitola.



Obr. 1.2 Příklad konstrukčního uspořádání trojfázových olejových transformátorů



Obr. 1.3 Příklad konstrukčního uspořádání trojfázových olejových transformátorů



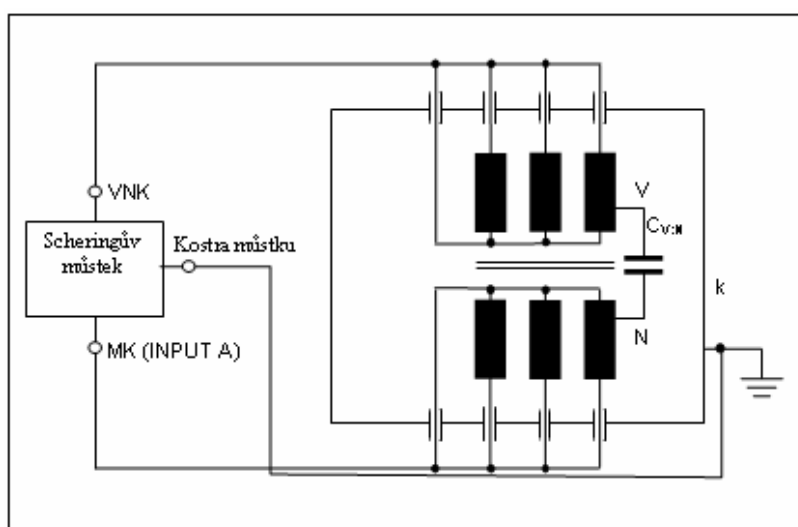
Obr. 1.4 Příklad konstrukčního uspořádání trojfázových olejových transformátorů

1.1.2 Zapojení transformátoru [19]

V disertační práci jsou studovány transformátory dvojvinut'ové a trojvinut'ové. Při zjišťování jejich vlastností (diagnostice) je **důležité zapojení**, které se také určitým způsobem **označuje**.

Dvojvinut'ový transformátor

K transformátoru se připojí měřící můstek, a to tak, že vysokonapět'ový kabel (VNK) můstku na vinutí vyššího napětí a měřící kabel (MK) na vinutí nižšího napětí (N). Kostra napájecího zdroje můstku je spojena s nádobou transformátoru. Potom se proměří UST, GST a GSTg (dříve značen V:N, V:N+k a V:k). Následuje změna vysokonapět'ového kabelu a měřícího kabelu a opětovné změření UST, GST a GSTg (dříve značen N:V, N:V+k, N:k). Na závěr se vysokonapět'ový kabel připojí na obě vodiče spojená vinutí a provede se měření GSTg (dříve značen V+N:k).



Obr. 1.5 Zapojení transformátoru UST [19]

Zapojení UST (Ungrounded Specimen Test) - měří se kapacita a ztrátový činitel vinutí vyššího napětí (V) ku vinutí nižšího napětí (N), kostra (k) je uzemněna, obr. .

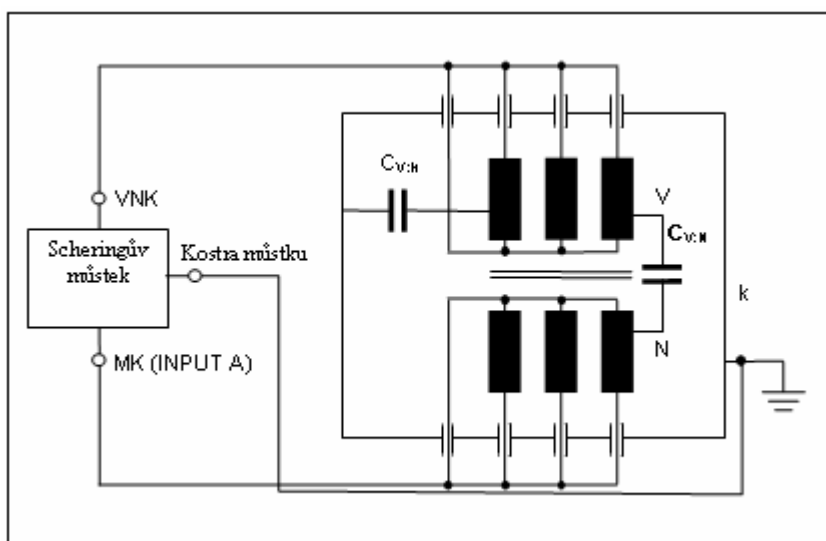
Zapojení GST (Grounded Specimen Test) - měří se kapacita a ztrátový činitel vinutí vyššího napětí (V) ku vinutí nižšího napětí (N) společně s kapacitou vinutí vyššího napětí (V) proti kostře (k), přitom je vinutí nižšího napětí (N), můstkem spojeno s kostrou (k), obr. .

Zapojení GSTg (Grounded Specimen Test with guarding) - měří se kapacita a ztrátový činitel vinutí vyššího napětí (V) ku kostře (k), přitom vinutí nižšího napětí (N) je virtuálně na nulovém potenciálu vytvořeném můstkem, obr. .

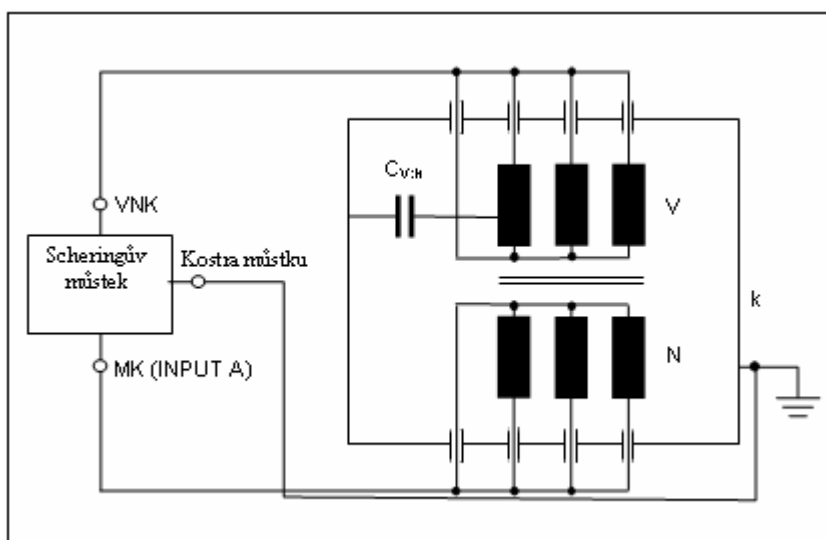
Trojvinut'ový transformátor

K transformátoru se připojí měřící můstek, a to tak, že vysokonapět'ový kabel (VNK) můstku na vinutí vyššího napětí (V) a měřící kabel (MK) na vinutí středního napětí (S) spojeného s vinutím nižšího napětí (N). Kostra napájecího zdroje můstku je spojena s nádobou transformátoru. Potom se proměří UST, GST a GSTg (dříve značen V:S+N, V:S+N+k a V:k). Následně se vysokonapět'ový kabel (VNK) připojí na vinutí středního napětí (S) a měřící kabel (MK) na vinutí vyššího napětí (V) spojeného s vinutím nižšího napětí (N). Změří se UST, GST a GSTg (dříve značen S:V+N, S:V+N+k, S:k). Dále se

vysokonapětový kabel (VNK) připojí na vinutí nižšího napětí (N) a měřící kabel (MK) na vinutí vyššího napětí (V) spojeného s vinutím středního napětí (S).



Obr. 1.6 Zapojení transformátoru GST [19]



Obr. 1.7 Zapojení transformátoru GSTg [19]

Změří se jako v předchozím případě UST, GST a GSTg (dříve značen $N:V+S$, $N:V+S+k$, $N:k$). Pak se vysokonapětový kabel (VNK) připojí na vinutí Vyššího napětí (V) spojeného s vinutím středního napětí (S) a měřící kabel na vinutí nižšího napětí (N). Změří se UST, GST a GSTg (dříve značen $V+S:N$, $V+S:N+k$, $V+S:k$). Na závěr se vysokonapětový kabel (VNK) připojí na vinutí vysokého napětí (V) spojeného s vinutím středního vinutí (S) a vinutím nižšího napětí (N) a provede se měření GSTg (dříve značen $V+S+N:k$).

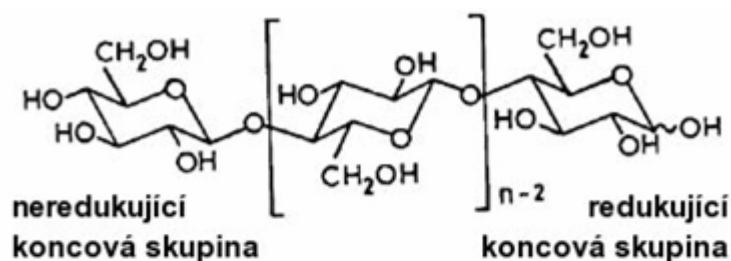
1.1.3 Papír

Papír je materiál vyráběný zhutněním vláken. Tvoří ho jemná rostlinná vlákna založená na **celulóze**. Nejčastěji použitý materiál je dřevo, většinou jehličnanů. Další materiál je bavlna, konopí a len. Vláknina pro výrobu papíroviny je vyrobena mechanicky, chemicky nebo chemicko-mechanicky. Neupravený papír obsahuje jen celulózu a je velmi savý. Proto

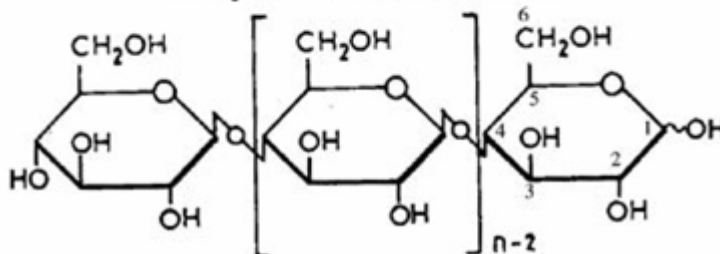
se do něj přidávají přísady pro dosažení požadovaných vlastností, jako jsou různé polymery, pojiva a plnidla. Jakost a použití papíru určuje použitá surovina a zpracování.

Neupravený papír obsahuje jen celulózu a je velmi savý. Proto se do něj přidávají přísady pro dosažení požadovaných vlastností, jako jsou různé polymery, pojiva a plnidla. Jakost a použití papíru určuje použitá surovina a zpracování.

Celulóza je základní stavební hmota rostlinných tkání. Technická celulóza se také nazývá buničina. Jedná se o přirozenou makromolekulární látku, glukózový neredukující polysacharid ze sumárním vzorcem $(C_6H_{10}O_5)_n$, složený z monosacharidu-glukózy (glukopyranózy) spojené vazbou. Makromolekula celulózy má tvar dlouhého řetězce. Každý článek je složen ze dvou zbytků glukózy, které jsou spolu spojeny kyslíkovými můstky v protilehlých polohách natočenými o 180° proti sobě. Každý glukózový kruh obsahuje 3 hydroxylové skupiny OH. Celulóza je nejrozšířenější biopolymer na zemi. Je to silně polární látka, která má vysoké dielektrické ztráty a permitivitu, je nerozpustná ve vodě a některých chemikáliích, snadno navlhá. Její makromolekulární hmotnost je 200000, molární hmotnost je 300000–500000 g/mol a hustota je 1560 kg/m^3 .



Někdy se kreslí následovně:



Obr. 1.8 Makromolekula celulózy [29]

Vlastnosti papíru závisí na druhu použitých vláknitých surovin a na způsobu jejich zpracování.

Degradace papíru

Papír jako ostatní organické materiály podléhá za určitých podmínek degradaci neboli poškození papíru či makromolekuly celulózy. Degradace mohou způsobit tyto faktory:

- vnitřní (endogenní) – dány technologií výroby papíru
 - druh, kvalita a chemické složení papíroviny
 - použitá plnidla, klíždla a barviva
 - nečistoty zanesené do papíru při výrobě
- vnější (exogenní)
 - teplota

- relativní vlhkost
- účinek oxidu síry, dusíku a ozónu
- světelná energie

Mechanismy degradace papíru se dělí na:

- chemické
 - **hydrolýza**
 - **oxidace**
 - **sít'ování**
 - mechano-chemické
- fyzikální
 - zvýšení obsahu krystalické fáze
 - relaxace volného objemu celulózy v amorfních oblastech

Při degradaci papíru dochází ke strukturálním změnám a to k nárůstu obsahu kyslíkatých funkčních skupin a dvojných vazeb tzv. chromoforů. Dále dochází ke štěpení makromolekulárních řetězců nebo vzniku dalších sloučenin. Papír mechanicky degraduje vlivem samotné dřevoviny, která obsahuje lignin a jiné chemické látky použité během výrobního procesu. Tyto jsou nositelkami kyselosti. Při změnách v chemické struktuře papíru dochází ke změně barvy (zežloutnutí), zkřehnutí, lámání papíru a ke vzniku prasklin. Dochází tedy ke změnám mechanických vlastností.

Degradaci papíru se také říká stárnutí. Jak již bylo napsáno je to souhrn chemických a fyzikálních změn, ke kterým dochází v závislosti na čase a jsou vyvolány teplotou, kyslíkem, mechanickým namáháním, elektrickým polem, klimatickými (vlhkost) a chemickými (agresivní látky) vlivy či ultrafialové záření. Na stárnutí závisí doba života izolačního systému a tím i doba života stroje.

Změny vlastností papíru při stárnutí mohou být vratné nebo nevratné. Pokud mluvíme o vratných změnách jedná se o změny fyzikálního charakteru jako je navlhnutí. Po odstranění negativně působících vlivů se tyto změny vrátí do původního stavu. Jiné je to u nevratných změn. Tyto změny jsou následkem složitých fyzikálně-chemických pochodů, při kterých vznikají strukturální změny a které způsobují trvalé zhoršení mechanických, chemických a elektrických vlastností.

Při stárnutí dochází k fyzikálně-chemickým pochodům, které jsou projevem chemických reakcí jako je: hydrolýza, oxidace, polymerace, zesít'ování makromolekul, depolymerace, rozklad některých složek materiálu aj.

a) Hydrolýza papíru

Hydrolýza je rozklad chemických vazeb působením vody. U celulózy dochází ke snížení polymeračního stupně a ke vzniku nových redukujících koncové skupiny.

Druhy hydrolýzy:

- kyselá – v kyselém prostředí, vyskytuje se nejčastěji
- alkalická – vyskytuje se v alkalickém prostředí
- termická – při působení teplot nad 120 °C

Kyselá hydrolýza

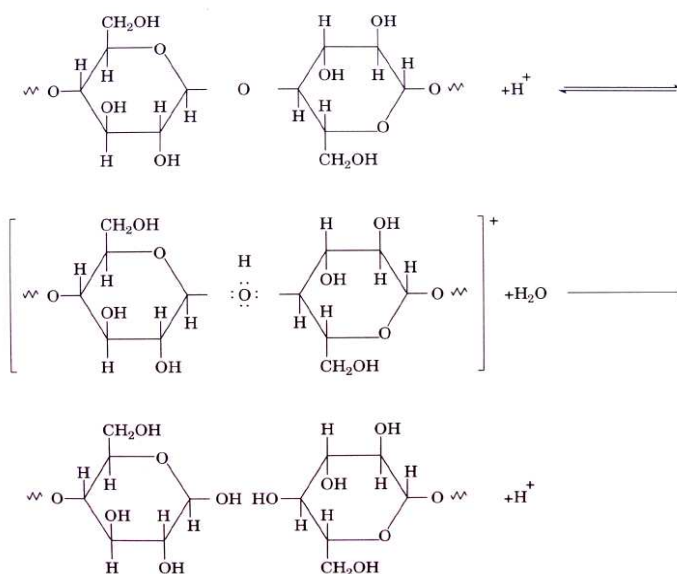
U glykosidické vazby v celulóze dochází v kyselém prostředí k postupnému zkracování (rozštěpení) polymerního řetězce, tzn. ke snižování polymeračního stupně. Délka řetězce se může postupně zkrátit až na monomery. Tímto zkracováním dochází také ke ztrátě mechanických vlastností.

Hydrolytický rozpad glykosidické vazby celulózy je katalyzován vodíkovým kationem a probíhá v několika fázích.

Rychlost reakce výrazně ovlivňuje obsah krystalické a amorfni fáze celulózy. Dále pak přítomnost aldehydových a karboxylových skupin

Alkalická hydrolýza

V silně alkalickém prostředí je glykosidická vazba celulózy reaktivní. Zde hydrolyzuje glykosidická vazba poslední glykopyranózy. Reakce začíná izomerací aldózy na ketózu.



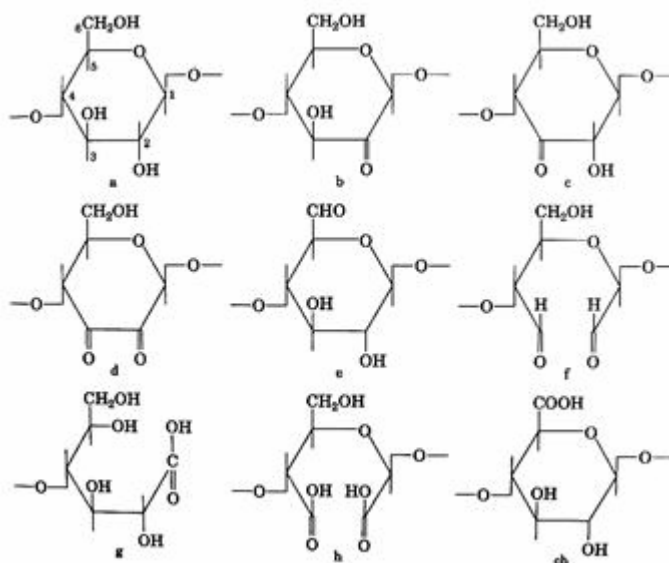
Obr. 1.9 Hydrolýza glykosidické vazby [50]

b) Oxidace

K oxidaci může dojít pomocí nízkomolekulárních produktů vzniklých hydrolytickým rozpadem nebo pomocí autooxidace při redukci koncových karbonylových skupin. Při oxidaci dochází k odštěpování elektronů z atomů nebo skupin, a tím se zvyšuje/snižuje kladné/záporné oxidační číslo. S rostoucí teplotou vzrůstá rychlost oxidace. Primární i sekundární hydroxylové skupiny glukopyranózy mohou být oxidovány za vzniku ketonových, aldehydových a karboxylových skupin. β -D-glukopyranóza obsahuje 3 hydroxylové skupiny $-\text{OH}$. Jedna je primární na atomu uhlíku č. 6 a dvě sekundární na atomech uhlíku č. 2 a 3. Oxidují na ketonové, aldehydové a karboxylové skupiny, podle umístění:

- atom uhlíku č. 6 – aldehydové a karboxylové skupiny
- atomy uhlíku č. 2 a 3 – ketonové a aldehydové skupiny – zde dochází ke štěpení vazby mezi atomy glukopyranózové jednotky, karboxylové skupiny
- atom uhlíku č. 1 – karboxylová skupina

Oxidací dochází ke strukturálním změnám a ke vzniku polárních zplodin, které zvyšují elektrickou vodivost a ztrátový činitel. Dále klesá mechanická pevnost a často se zhoršují i elektrické vlastnosti.



Obr. 1.10 Oxidace [50]

c) Sít'ování

Při degradaci papíru vznikají nové intra- i intermolekulární příčné vazby. Zesít'ování makromolekul může nastat i oxidací. Způsobuje strukturální změny. Celková pevnost se tak zvyšuje, materiál tvrdne ale pevnost vláken klesá a tím křehne, ztrácí ohebnost, zhoršují se elektrické vlastnosti a roste vlhkost.

Elektrotechnický papír a lepenka

Elektrotechnický papír a lepenka se vyrábí nejčastěji z buničiny ze smrkového nebo jedlového dřeva. Jedná se o nebělenou sulfátovou (sulfitová je méně běžná) buničinu, buničinu s velkou pevností. Do určitých druhů lepenek se do papíroviny ze sulfátové nebo sulfitové buničiny přidává bavlněná a lněná hadrovina. Do jiných se přidávají syntetické vlákniny jako polyamid, polyester nebo anorganické vlákniny jako je sklo a azbest. Dále se pro elektrotechniku vyrábí papír čistě z anorganických surovin jako je slída, skelná vlákna atd.

Tato buničina je vyrobena vařením vlákniny v roztoku obsahující převážně hydroxid sodný a siřník sodný [22]. Papír se pak zpracovává na papírenských strojích jako jednovrstvý nebo dvojevrstvý tzv. duplexový papír. Výhodou duplexového papíru jsou lepší mechanické vlastnosti a větší elektrická pevnost než u jednovrstvého.

1) Vlastnosti papíru a lepenky

Papír musí být zpracovaný stejnoměrně, nesmí obsahovat hrubší nečistoty (kůru, třísky, špatně rozvlákněnou buničinu aj.), skvrny, díry, přehyby, vrásky, natržení a jiná mechanická poškození. Má mít dobré fyzikální a elektrické (ve vysušeném stavu) a technologické (snadná zpracovatelnost) vlastnosti. Důležitou vlastností je jakost. Ta je ovlivněna fyzikálními a chemickými vlastnostmi a na ní zase závisí elektrické vlastnosti, spolehlivost a životnost.

Mechanické vlastnosti jsou velmi důležité z hlediska ekonomického zpracování papíru. Z důvodu namáhání papíru při výrobě se vyšetřuje jeho pevnost v tahu, tažnost a počet dvojohybů. Tyto vlastnosti jsou závislé na jakosti buničiny, struktuře papíru, způsobu mletí, zpracování, směru výroby, vlhkosti atd.

K posouzení elektrických vlastností při působení elektrického pole a tepla se používá permitivita, měrný vnitřní odpor, ztrátový činitel a elektrická pevnost.

Poškození neboli stárnutí izolačního papíru zhoršuje hlavně mechanické vlastnosti, u silně poškozeného papíru se zhorší i elektrické vlastnosti. Mechanické zkoušky papíru a lepenek z rostlinných vláken udávají, že při teplotě nad 100 °C se při zvýšení teploty asi o 8 °C zdvojnásobí rychlost stárnutí, u teplot pod 100 °C k tomu dochází při zvýšení teploty o 8 až 12 °C.

Účinkem působení tepla při přerušovaném ohřevu se účinky ohřívacích period na izolaci sčítají. Kyslík (ze vzduchu i z olejové impregnace) zvětšuje rychlost stárnutí podobně jako vlhkost.

S ohledem na tepelné namáhání izolačního papíru se provádí zkouška tepelné stálosti. S ohledem na použití elektrotechnického papíru se stanovuje elektrotechnická pevnost, průrazná pevnost lepenky po vysušení a po předepsaných ohybech a vysušení vždy na jedné vrstvě. Elektrotechnický papír nemá obsahovat elektricky vodivé nečistoty proto se stanovuje počet vodivých míst na 1m^2 .

Pokud se klade důraz na elektroizolační vlastnosti stanoví se měrný odpor, činitel dielektrických ztrát a permitivita papíru.

Některé látky v papíru mohou negativně ovlivnit elektrické vlastnosti papíru a impregnantů. Tyto látky se odhalují pomocí stanovení obsahu popela. Zhoršení kvality elektrotechnického papíru se stanovuje kyselostí nebo alkalitou. Dále je potřeba zjistit obsah kovů v papíru kvůli korozi papíru (kvalitativní určení chloridů a síranů) a také měrná vodivost vodního výluhu.

U transformátorových lepenek se ještě stanovuje vliv lepenky na činitel dielektrických ztrát transformátorového oleje.

A) Fyzikální vlastnosti

- a) Navlhavost (hygroskopičnost)
je příčinou určité vlhkosti v papíře. Vlhkost má vliv na mechanické a elektrické vlastnosti papíru. Určité množství vlhkosti je ale potřebné pro zpracování papíru, aby se papír nelámал, velké zase snižuje jeho mechanické vlastnosti. Vysušený papír rychle přijímá vodu z okolí, proto se impregnuje. Impregnace navlhání úplně nezabrání jen tento proces zpomalí.
- b) Tloušťka
je to kolmá vzdálenost mezi protilehlými povrchy. Tloušťka papíru musí být stejnoměrná v obou směrech, tedy v příčném a podélném směru. Lepší rovnoměrnosti tloušťky se dosahuje u dvouvrstvých (duplexových) papírů.
- c) Měrná hmotnost
vyjadřuje hustotu papíru. Hustota papíru je ovlivněna druhem papíru, stupněm mletí a povrchovou úpravou. S rostoucí hustotou stoupá permitivita a u impregnovaných papírů roste elektrická pevnost při zkoušce střídavým napětím i elektrickým rázem.
- d) Plošná hmotnost
je důležitou vlastností papíru. Jedná se o hmotnost 1m^2 papíru, o jednotce g/m^2 . Používá se k výpočtu měrné hmotnosti při známé tloušťce papíru.
- e) Objemová váha
je důležitou vlastností papíru. Ovlivňuje elektrické vlastnosti. Stanoví se jako podíl plošné váhy ku tloušťce papíru.
- f) Směr výroby papíru a lepenky
při strojové výrobě jsou vlákna seřazena jedním směrem. Rozlišuje se směr podélný, to je ve směru chodu stroje, a příčný, tedy kolmý na směr výroby. Podle daného směru se liší mechanické vlastnosti, např. pevnost v tahu je v podélném směru vždy větší než v příčném.

B) Mechanické vlastnosti

- a) Pevnost v tahu
je to důležitý údaj pro další zpracování a pro vlastnosti izolace. Nestoupá úměrně s tloušťkou papíru. Běžně se pro oba směry, tedy pro příčný a podélný směr, udává tzv. tržnou délkou.
- b) Tržná délka
je to délka pásu papíru a plošné tíhy, při níž se volně zavěšený pás vlastní silou přetrhne v místě závěsu. Vypočte se jako délka pásu papíru l ku tíze pásu papíru o délky l násobené pevností v tahu.
- c) Tažnost
jedná se o relativní prodloužení zkušebního vzorku při zkoušce tahem v okamžiku přetržení. Vyjadřuje se v % původní délky vzorku.
- d) Odolnost v přehýbání (dvojohyb)
je schopnost papíru snášet opakované přehýbání při současném namáhání tahem. Vyjadřuje se počtem dvojohybů vykonaných za stanovených podmínek, provádí se do okamžiku destrukce. Charakterizuje houževnatost papíru neboli jeho odolnost proti přelomení při střídavém ohýbání o 180° .
- e) Propustnost
schopnost papíru propouštět plyny nebo kapaliny. Je mírou pórovitosti papíru, dané jeho strukturou, kterou tvoří jemné kanálky. Je závislá na druhu a vlastnostech buničiny, stupni mletí, na povrchové úpravě a vlhkosti papíru. Zjišťuje se pro vzduch, pro případ ustálené difuze a to pomocí měření času, za který projde určitý objem vzduchu při známém rozdílu tlaků vzorkem papíru o určité ploše. A druhým způsobem je měření objemu vzduchu, který při známém rozdílu tlaků projde za určitou dobu vzorkem papíru o známe ploše.
- f) Savost
jedná se o schopnost absorbovat kapaliny. Závisí na množství a průměru pórů ovlivněných druhem, povrchovými úpravami, zpracováním a vlastnostmi papíru. Za měřítko savosti se bere výška vztlínání kapaliny při stanovené teplotě a době na proužku papíru zavěšeného kolmo s jedním koncem ponořeným do kapaliny. S ohledem na strukturu papíru je savost v podélném směru vždy větší než v příčném.
- g) Pevnost papíru v dotržení
stanovuje práci potřebnou k dotrnutí papírové pásky předem naříznuté.
- h) Stlačitelnost a smrštelnost lepenky
určuje se kvůli dynamickému namáhání při zkratu, aby nedošlo k poškození vinutí.

C) Elektrické vlastnosti

- a) Permittivita
závisí na měrné hmotnosti papíru. S rostoucí měrnou hmotností permittivita stoupá a s teplotou se mírně zvyšuje.
- b) Měrný vnitřní odpor
u vysušených elektroizolačních papíru je velmi vysoký. Se vzrůstající teplotou klesá exponenciálně. Silně klesá s rostoucím obsahem vlhkosti. Slouží hlavně ke kontrole vysušení papíru před impregnací.
- c) Ztrátový činitel
je citlivý ukazatel čistoty papíru a jeho vhodnost pro elektroizolační účely. Závisí na teplotě, vlhkosti a kmitočtu. Teplotní závislost ztrátového činitele se používá k určení jakosti. Na jeho velikost má vliv vlhkost papíru.

- d) Elektrická pevnost závisí na jeho propustnosti pro vzduch, na tloušťce, na teplotě, kmitočtu, vlhkosti a době působení napětí. S nepropustností papíru stoupá elektrická pevnost a rázová elektrická pevnost, která zároveň stoupá s jeho homogenitou. Dle experimentálních výsledků elektrická pevnost papíru klesá s rostoucí teplotou a kmitočte. Její pokles způsobuje také vlhkost a doba působení napětí.

D) Chemické vlastnosti

- a) Popel
je minerální zbytek po dokonalém spálení. Jeho obsah indikuje přítomnost nežádoucích anorganických látek, které se do papíru dostaly při jeho výrobě. Tyto látky mohou zhoršovat jeho izolační vlastnosti nebo životnost.
- b) Kyselost a alkalita
papír nesmí obsahovat kyselé nebo zásadité soli rozpustné ve vodě. Tyto soli zhoršují vlastnosti papíru a impregnantů, snižují tepelnou odolnost a urychlují stárnutí. Zjišťuje se aktuální acidita, tj. stupeň kyselosti nebo alkality daný koncentrací vodíkových iontů. Nebo potenciální acidita, tj. stupeň kyselosti nebo alkality daný obsahem titrovatelných kyselin nebo zásad.
- c) Chloridy a sírany
Jejich obsah může mít nepříznivý vliv na papír nebo jeho impregnaci.
- d) Vodivost vodného výluhu
hodnota vodivosti vodného výluhu je závislá na obsahu solí v papíře. Měrná vodivost výluhu indikuje přítomnost elektrolytů vyluhovaných z papíru nesmí přesáhnout určitou hodnotu, aby nedošlo ke zhoršení elektrických vlastností a trvanlivosti papíru.

2) Dělení elektrotechnického papíru

Elektrotechnický papír se dělí podle plošné hmotnosti na:

- papír
- lepenka

Papír se dělí:

- a) vyrobený z organických látek – dle použití pro:
- kondenzátory
 - o silnoprůdné
 - o slaboprůdné
 - o elektrolytické
 - kabely
 - o silové
 - o sdělovací
 - o armovací
 - o opřádací
 - izolování vinutí elektrických strojů
 - tvrzený
 - lakovaný izolační
 - mikafólium
 - prokladový

- polepování dynamových a transformátorových plechů
 - trubkový
 - grafitový
- b) vyrobený z anorganických látek na papír:
- azbestový (osinkový)
 - vyrobený ze skla
 - slídový

Lepenka se dělí:

- a) dle složení a způsobu výroby na:
- nehlazená (obyčejná)
 - lesklá
- b) dle použití
- drážková
 - transformátorová

Lepenka pro transformátory [24], [25], [26]

Transformátorová lepenka se používá pro zpracování na izolační vložky do transformátorů a k těsnění jako izolační materiál. Vyrábí se výlučně z přírodních vláken, z nebělené sulfátové a sulfitové buničiny, ze sulfátové buničiny nebo bavlny. Důležité je aby vláknina nebyla bělená a měla vysoký stupeň polymerace. Lepenka se dodává v arších. Jedná se o lepenku hlazenou nebo lesklou, ve světle hnědé barvě, v různých tloušťkách a rozměrech. Musí mít velmi dobré elektrotechnické vlastnosti. Vlastnosti musí splňovat dané hodnoty jako jsou např. v tab. 1.1.

Tab. 1.1 Některé požadované vlastnosti transformátorové lepenky

Vlastnost	Hodnota
Pevnost v tahu Mpa, min	
- v podélném směru	50
- v příčném směru	25
Tažnost při přetržení v %, min	
- v podélném směru	5
- v příčném směru	5,5
Stlačitelnost při tlaku 40MPa v %, max.	7
Trvalé stlačení v %, max.	2
Smrštění v %, max.	
- délka	2
- šířka	1,7
- tloušťka	7
Obsah popela v %, max.	6
Vlhkost v %, max.	9
pH vodného výluhu (za horka i za studena)	6 až 8
Rozdíl ztrátového činitele tgδ transformátorového oleje, max	0,01

Přehled lepenek používaných u transformátoru:

Lesklá lepenka

Třída	Druh	Podtřída	Složení
B2	Lesklá lepenka, vysoké chemické čistoty	B 2.1	100% sulfátová dřevní buničina
		B 2.2	100% bavlna
		B 2.3	směs sulfátové dřevní buničiny a bavlny
		B 2.4	směs bavlny a juty
B3	Tvrzená lesklá lepenky, velmi tvrdá a neohebná, charakterizovaná vysokou chemickou čistotou a mechanickou pevností, její povrch nese otisky tkaniny	B 3.1	100% sulfátová dřevní buničina
		B 3.2	100% bavlna
		B 3.3	směs sulfátové dřevní buničiny a bavlny
		B 3.4	směs bavlny a juty
B4	Lesklá lepenka, vysoké chemické čistoty s vysokou nasákavostí oleje a schopností tvarování	B 4.1	100% sulfátová dřevní buničina
		B 4.2	100% bavlna
		B 4.3	směs sulfátové dřevní buničiny a bavlny
		B 4.4	směs bavlny a juty
B5	Tvrzená lesklá lepenky, s vysokou chemickou čistotou a nasákavostí oleje a schopností tvarování	B 5.1	100% sulfátová dřevní buničina
		B 5.2	100% bavlna
		B 5.3	směs sulfátové dřevní buničiny a bavlny
		B 5.4	směs bavlny a juty

Obyčejná lepenka

Třída	Druh	Podtřída	Složení
P2	Obyčejná lepenka, vysoké hustoty a vysoké chemické čistoty	P 2.1	100% sulfátová dřevní buničina
		P 2.2	100% bavlna
		P 2.3	směs sulfátové dřevní buničiny a bavlny
		P 2.4	směs bavlny a juty
P4	Obyčejná lepenka, vysoké chemické čistoty a vysokou nasákavostí oleje	P 4.1	100% sulfátová dřevní buničina
		P 4.2	100% bavlna
		P 4.3	směs sulfátové dřevní buničiny a bavlny
		P 4.4	směs bavlny a juty
P5	Obyčejná lepenka, vysoké chemické čistoty a vysokou nasákavostí oleje	P 5.1	100% sulfátová dřevní buničina
		P 5.2	100% bavlna
		P 5.3	směs sulfátové dřevní buničiny a bavlny
		P 5.4	směs bavlny a juty

1.1.4 Oleje

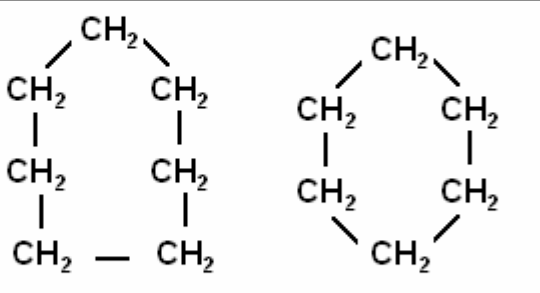
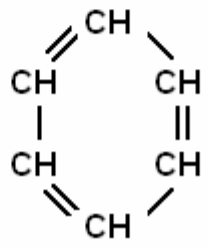
Olej je jedním z nejstarších kapalných izolantů. Rozdělujeme ho na:

- rostlinný
- živočišný
- **minerální** (právě tyto mají největší význam pro transformátory).

Minerální oleje

Získává se z ropy nebo syntetickou cestou. Základní složkou ropy jsou uhlovodíky, zbytky kyslíku, síry, dusíku, organických solí, vody a mechanických nečistot. Jednou z nejdůležitějších vlastností oleje je odolnost proti oxidaci. Jsou charakterem blízko syntetickým kapalným uhlovodíkům.

Tab. 1.2 Uhlovodíky v oleji a jejich strukturní vzorce [10]

Uhlovodíky	Strukturní vzorec	
Parafinické nerozvětvené	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	nasycené uhlovodíky
rozvětvené	$-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-$ $\qquad\qquad\qquad-\text{CH}_2-\text{CH}-$ $\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\text{CH}_3$	
Naftenické		nenasycené uhlovodíky
Aromatické		

Ropu dělíme:

- dle obsahu síry (toto dělení se provádí kvůli korozi zařízení, kterou způsobuje síra)
 - sirné
 - obsahují síru zanedbatelně
- dle uhlovodíků (uhlovodíky dodávají charakteristické vlastnosti (tab.1.2))
 - **parafinické** (alkalické $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$)
obsahují větší podíl parafínových uhlovodíků tzv. uhlovodíky s lineárními molekulami typu $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\dots-\text{CH}_2-\dots-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

- **neparafinické**
 - o **naftenické** (cyklanické C_nH_{2n})
molekuly uhlovodíků jsou tvořeny naftenovým jádrem
 - o **aromatické** (C_nH_{2n-6})
- c) dle použití oleje
 - izolace silových kabelů
 - izolace kondenzátorů
 - izolace vysokonapěťových průchodek
 - spínačové
 - **transformátorové**

Transformátorový olej

Pro transformátorový olej se hodí olej s větším obsahem **parafinových složek**, protože jsou stabilnější. V transformátoru se olej používá jako **izolační** a **chladicí** médium. Slouží i k impregnaci papíru v izolačním systému. K tomu, aby olej dobře plnil funkci chlazení je potřeba co nejnižší viskozity.

1.2 Technická diagnostika

Diagnostika se zabývá metodami a prostředky pro zjišťování stavu zkoumaného zařízení a snaží se o včasné odhalení počínajících změn, které by mohli způsobit poruchy zařízení a narušit tak provoz celé soustavy. Získané informace mohou vést jednak k detekci poruchy tj. k identifikaci poruchy zařízení nebo jeho části, a také k lokalizaci poruchy tj. k určení místa poruchy zařízení.

Pro zjištění **stavu transformátorů** se používají především tyto **diagnostické metody** [2], [12], [19].

- 1) **Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu**
- 2) **Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí**
- 3) **Zjišťování veličiny C_2/C_{50}**
- 4) **Měření částečných výbojů**
- 5) **Měření izolační vlastností oleje**
 - Měření průrazného napětí
 - Měření obsahu vody rozpuštěného v izolačním oleji
- 6) **Měření jakostních parametrů oleje**
 - Měření čísla kyselosti
 - Měření ztrátového činitele při laboratorní teplotě 90 °C
 - Měření relativního mezipovrchové napětí na rozhraní olej-voda
 - Měření vnitřní rezistivity při laboratorní teplotě 20 °C
 - Měření obsahu inhibitorů
- 7) **Měření plynové chromatografie oleje**
- 8) **Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji**
- 9) **Měření a analýza polarizačního spektra**
- 10) **Metody frekvenčních charakteristik**

Pomocí diagnostických metod se získají **veličiny**, které pro potřeby této disertační práce jsou **rozděleny** na:

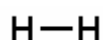
- **veličiny plynové chromatografie:** vodík, kyslík, dusík, oxid uhličitý, oxid uhelnatý, ethan, ethen, ethyn, butan, methan, propan, součet uhlovodíků, celkový obsah plynů rozpuštěných v izolačním oleji.
- **veličiny stavu oleje:** průrazné napětí, číslo kyselosti, ztrátový činitel při laboratorní teplotě 20 °C, 70 °C, 90 °C, relativní permitivita při laboratorní teplotě 20 °C, 70 °C, 90 °C, vnitřní rezistivita při laboratorní teplotě 20 °C, 70 °C, 90 °C, relativní mezipovrchové napětí na rozhraní olej-voda, obsah vody rozpuštěné v izolačním oleji, obsah inhibitoru, hustota.
- **veličiny stavu izolace vodičů:** izolační odpor v 15 s, izolační odpor v 60 s, ztrátový činitel, kapacita, časová konstanta, polarizační index.

1.2.1 Veličiny plynové chromatografie

Metoda plynové chromatografie slouží k indikaci tepelného stárnutí kapalných izolantů a soustavy olej-papír. Plyny jsou **produktem rozpadu řetězců celulózy**, proto jejich studium může být důležité pro sledování stavu izolačních systémů transformátorů. Jedná se především o tyto plyny:

Vodík

Vodík je nejlehčí a nejjednodušší plynný chemický prvek. Jeho hustota je 0,0899 kg/m³ a tepelná vodivost 0,1815 W/m·K. Je velmi málo rozpustný ve vodě. Sumární vzorec je H₂, udává se v µl/l tj. ppm.



Obr. 1.11 Molekula vodíku

Kyslík

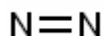
Kyslík je plynný chemický prvek, tvořící druhou hlavní složku zemské atmosféry. Jeho hustota je 1,429 kg/m³ při 0 °C a 101,325 kPa. Sumární vzorec je O₂, udává se v µl/l.



Obr. 1.12 Molekula kyslíku

Dusík

Dusík je plynný chemický prvek, tvořící hlavní složku zemské atmosféry, který patří k biogenním prvkům. Jeho hustota je 1,2506 kg/m³ při 273 K. Sumární vzorec je N₂, udává se v µl/l.



Obr. 1.13 Molekula dusíku

Oxid uhličitý

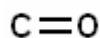
Oxid uhličitý vzniká reakcí uhlíku s kyslíkem. Jeho hustota je 1,98 kg/m³. Rozpustnost ve vodě je 1,45 kg/m³. Sumární vzorec je CO₂, udává se v µl/l.



Obr. 1.14 Molekula oxidu uhličitého

Oxid uhelnatý

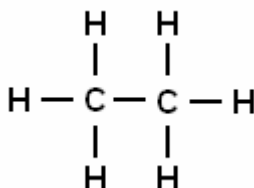
Oxid uhelnatý má hustotu v kapalném skupenství $0,789 \text{ g/cm}^3$. Ve vodě je málo rozpustný, jeho rozpustnost je $0,0026 \text{ g/ml}$ při 20°C . Sumární vzorec je CO , udává se v $\mu\text{l/l}$.



Obr. 1.15 Molekula oxidu uhelnatého

Ethan

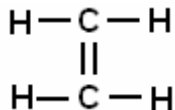
Ethan patří do skupiny alkanů, je druhý nejjednodušší nasycený uhlovodík. Jeho hustota je $2,054 \text{ kg/m}^3$ při $-88,7^\circ \text{C}$ a 1013 hPa nebo $1,282 \text{ kg/m}^3$ při 15°C a 1013 hPa . Rozpustnost ve vodě je $0,06 \text{ g/l}$ při 25°C . Sumární vzorec je C_2H_6 , udává se v $\mu\text{l/l}$.



Obr. 1.16 Molekula ethanu

Ethen

Starší název ethenu je ethylen, který patří mezi nejjednodušší alkeny. Jeho rozpustnost ve vodě je 25 ml/100 l při 0°C a 12 ml/100 l při 25°C . Sumární vzorec je C_2H_4 , udává se v $\mu\text{l/l}$.



Obr. 1.17 Molekula ethenu

Ethyn

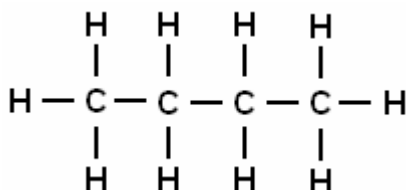
Triviální název ethynu je acetylen, který je nejjednodušší uhlovodík s trojnou vazbou. Ethyn lze vyrábět částečným spalováním methanu s kyslíkem. Jeho rozpustnost ve vodě je 1185 mg/l při 20°C a nebo $0,0010967 \text{ g/cm}^3$. Sumární vzorec je C_2H_2 , udává se v $\mu\text{l/l}$.



Obr. 1.18 Molekula ethynu

Butan

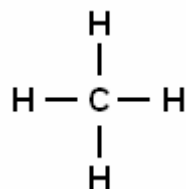
Butan patří do skupiny alkanů. Jeho rozpustnost ve vodě je $6,1 \text{ mg/100 l}$ při 20°C a hustota $2,48 \text{ kg/m}^3$ při 15°C . Sumární vzorec je C_4H_{10} , udává se v $\mu\text{l/l}$.



Obr. 1.19 Molekula butanu

Methan

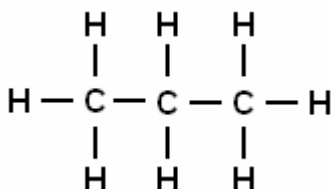
Methan je nejjednodušší alkan a nejjednodušší uhlovodík. Jeho hustota je $0,676 \text{ kg/m}^3$ při 21°C a 1013 hPa . Rozpustnost ve vodě je $0,22 \text{ mg/l}$ při 20°C . Sumární vzorec je CH_4 , udává se v $\mu\text{l/l}$.



Obr. 1.20 Molekula methanu

Propan

Propane nasycený uhlovodík, patří do skupiny alkanů. Jeho rozpustnost ve vodě je $0,08 \text{ g/l}$ při 25°C a hustota $2,423 \text{ kg/m}^3$ při $-42,1^\circ\text{C}$ a 1013 hPa nebo $1,91 \text{ kg/m}^3$ při 15°C a 1013 hPa . Sumární vzorec je C_3H_8 , udává se v $\mu\text{l/l}$.



Obr. 1.21 Molekula propanu

Celkový obsah plynů rozpuštěných v izolačním oleji

Měření celkového obsahu plynů rozpuštěných v izolačním oleji se používá k včasnému odhalení závad určení jejího druhu atd. Značí se Q_p a udává se v $\%$. Další podrobnosti jsou uvedeny např. v [2], [12], [19].

1.2.2 Poměry plynů v diagnostice transformátorů

K posouzení vlastností transformátorů se používají i různé **poměry** v předcházející kapitole **popsaných plynů**. Tyto poměry jsou získávány různými způsoby a mají také svůj typický název. K těmto způsobům patří:

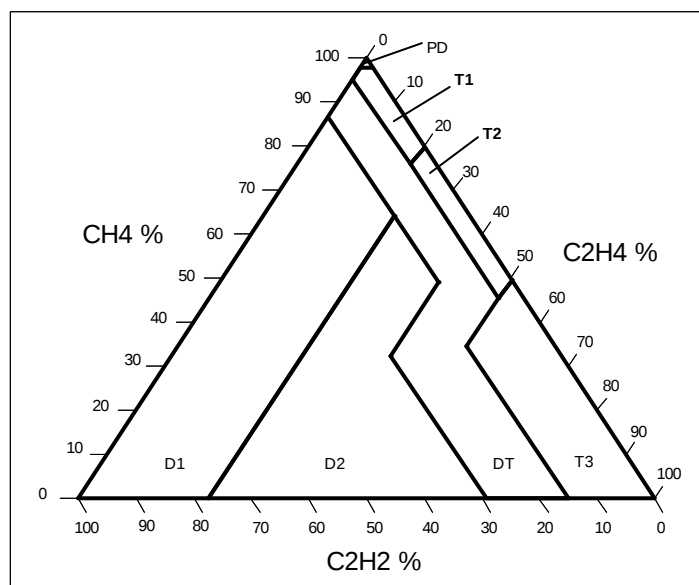
- Duvalův trojúhelník
- Rogersova
- Dörnenburgova metoda
- Metody podle normy např. IEC 60 599.

Dále jsou jednotlivé způsoby popsány více.

Duvalův trojúhelník

Tento způsob byl vyvinut Michalem Duvallem a je součástí normy IEC 60 599:1999. Používá se pokud existuje podezření na poruchu na základě zvýšení koncentrace plynu. Způsob používá koncentrace plynů C_2H_2 , C_2H_4 , CH_4 . Pro sestavení trojúhelníku je třeba vyjádřit plyny v procentech z celkového počtu těchto plynů. A to takto:
 $\% \text{C}_2\text{H}_2 = 100 \cdot \text{C}_2\text{H}_2 / (\text{C}_2\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{CH}_4)$, $\% \text{C}_2\text{H}_4 = 100 \cdot \text{C}_2\text{H}_4 / (\text{C}_2\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{CH}_4)$
a $\% \text{CH}_4 = 100 \cdot \text{CH}_4 / (\text{C}_2\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{CH}_4)$. Vypočítané souřadnice plynů $\% \text{C}_2\text{H}_2$; $\% \text{C}_2\text{H}_4$;

%CH₄ se pak vynesou do trojúhelníkového souřadnicového systému Duvalova trojúhelníku obr. 1.22.



Obr. 1.22 Metoda Duvalova trojúhelníku

Trojúhelník je rozdělený do 7 částí. Každá z těchto částí odpovídá jedné ze 7 poruch. Jedná se o částečné výboje (PD), tepelnou poruchu do 300 °C (T1), tepelnou poruchu 300 °C–700 °C (T2), tepelnou poruchu nad 700 °C (T3), výboje nízké energie (D1), výboje vysoké energie (D2), tepelnou poruchu nebo elektrický oblouk (DT).

Rogersova metoda

Rogersova metoda (v textu značena jako Rogersova metoda (1)) vychází z koncentrace plynů C₂H₂, C₂H₄, CH₄, H₂, C₂H₆. Plynů tvoří čtyři poměry: C₂H₂/C₂H₄, CH₄/H₂, C₂H₄/C₂H₆, C₂H₆/CH₄. Dle velikosti jednotlivých poměrů plynů se dostane příslušný kód, který je popsán v tab. 1.3. Pod určitou kombinací kódů poměrů plynů je dána porucha. Tato metoda identifikuje 11 poruch, ty jsou uvedeny v tab. 1.4, pro určitou kombinaci kromě druhů poruch i velikosti jednotlivých poměrů plynů náležející k dané poruše.

Tab. 1.3 Koncentrace poměrů plynů a jejich rozdělení na kódy

Poměr plynů Kód	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₆ /CH ₄	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄
5	≤ 0,1			
0	> 0,1 < 1	< 1	< 1	< 0,5
1	≥ 1 < 3	≥ 1	≥ 1 < 3	≥ 0,5 < 3
2	≥ 3		≥ 3	≥ 3

Rogersova metoda (v textu značena jako Rogersova metoda (2)) byla přepracována pro tři poměry a to pro C₂H₂/C₂H₄, CH₄/H₂, C₂H₄/C₂H₆. Tato metoda se používá při překročení normálních koncentrací plynů. Pomocí těchto poměrů jde odhalit 5 druhů poruch, a to nízkoteplotní poruchu, teplotní poruchu do 700 °C, teplotní poruchu nad 700 °C, výboje nízké energie a hoření oblouku. V tab. 1.5 je přehled druhů poruch a velikosti jednotlivých poměrů plynů náležející k dané poruše.

Dörnenburgova metoda

Dörnenburgova metoda vychází z těchto plynů C_2H_2 , C_2H_4 , CH_4 , H_2 , C_2H_6 . Dané plyny jsou obsaženy v poměrech a to v: C_2H_2/C_2H_4 , CH_4/H_2 , C_2H_2/CH_4 , C_2H_6/C_2H_2 . Výsledky poměrů plynů indikují 3 hlavní druhy poruch a to tepelné chyby, výboje malé intenzity a hoření oblouku. V tab. 1.6 je přehled druhů poruch a velikosti jednotlivých poměrů.

Tab. 1.4 Přehled druhů poruch a jejich koncentrace

Poměry plynů				
CH_4/H_2	C_2H_6/CH_4	C_2H_4/C_2H_6	C_2H_2/C_2H_4	Poruchy
0	0	0	0	bezporuchový stav
5	0	0	0	částečné výboje
1; 2	0	0	0	přehřátí do 150 °C
1; 2	1	0	0	přehřátí 150-200 °C
0	1	0	0	přehřátí 200-300 °C
0	0	1	0	přehřátí vodičů
1	0	1	0	vinutí oběhových proudů
1	0	2	0	přehřáté spoje, jádro a nádrž cirkulujících proudů
0	0	0	1	přeskok bez schopnosti opakování
0	0	1; 2	1; 2	hoření oblouku se schopností opakování
0	0	2	2	jiskření, možnost změny místa
5	0	0	1; 2	částečné výboje se sledováním

Tab. 1.5 Přehled druhů poruch a jejich koncentrace

Poměry plynů			
C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6	Poruchy
< 0,1	> 0,1 < 1	< 0,1	bezporuchový stav
< 0,1	< 0,1	< 0,1	výboje nízké energie
$\geq 0,1 \leq 3$	$\geq 0,1 \leq 1$	> 3	hoření oblouku
< 0,1	> 0,1 < 1	$\geq 1 \leq 3$	nízkoteplotní porucha
< 0,1	> 1	$\geq 1 \leq 3$	tepelná porucha do 700 °C
< 0,1	> 1	> 3	tepelná porucha nad 700 °C

Tab. 1.6 Přehled druhů poruch Dörnenburgovi metody a koncentraci poměru plynů daných poruch

Poměry plynů				
CH_4/H_2	C_2H_2/C_2H_4	C_2H_2/CH_4	C_2H_6/C_2H_2	Poruchy
> 0,1	< 0,75	< 0,3	> 0,4	tepelná porucha
< 0,1	nevýznamná	< 0,3	> 0,4	výboje nízké energie
> 0,1 < 1	> 0,75	> 0,3	< 0,4	hoření oblouku

Metoda podle IEC 60 599

Metoda podle IEC 60 599 je metoda založena na Rogersově metodě. Metoda využívá tyto plyny: C_2H_2 , C_2H_4 , CH_4 , H_2 , C_2H_6 . Dané plyny jsou součástí těchto poměrů: C_2H_2/C_2H_4 , CH_4/H_2 , C_2H_4/C_2H_6 . Metoda detekuje 6 poruch a to částečné výboje, výboje nízké energie, hoření oblouku, výboje střední intenzity, výboje vysoké intenzity a výboje s vysokou energií.

výboje vysoké energie, tepelná porucha do 300 °C, tepelná porucha 300 °C–700 °C, tepelná porucha nad 700 °C. V tab. 1.7 je přehled druhů poruch a velikosti jednotlivých poměrů.

Pomocná kritéria

Existují ještě pomocná kritéria. Vychází se z plynů CO , CO_2 , O_2 , N_2 , $\sum \text{C}_x\text{H}_y$. Tyto plyny tvoří dané poměry CO_2/CO , O_2/N_2 , $\text{CO}_2/\sum \text{C}_x\text{H}_y$, $\text{C}_2\text{H}_2/\text{H}_2$.

Tab. 1.7 Přehled druhů poruch IEC 60 599 metody a koncentraci poměru plynů daných poruch

Poměry plynů			
$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$	Poruchy
nevýznamné	< 0,1	< 0,2	částečné výboje
> 1	$\geq 0,1 \leq 0,5$	> 1	výboje nízké energie
$\geq 0,6 \leq 2,5$	$\geq 0,1 \leq 1$	> 2	výboje vysoké energie
nevýznamné	> 1 (nevýznamné)	< 1	tepelná porucha do 300 °C
< 0,1	> 1	$\geq 1 \leq 4$	tepelná porucha 300 °C-700 °C
< 0,2	> 1	> 4	tepelná porucha nad 700 °C

Poměr plynů CO_2/CO se používá k hodnocení degradace papírové izolace. Pokud je hodnota poměru < 3, může být papírová izolace tepelně poškozena uhelnatěním (uhelnatění celulóзовé izolace). Pokud hodnota poměru je větší než 11 pak je v izolaci zvýšená teplota (vyšší než normální teplota v izolaci).

Poměr plynů O_2/N_2 se používá ke sledování vývoje kyslíku. Pokud je poměr kolem 0,5 jedná se o rovnovážný stav mezi izolačním olejem a atmosférickým vzduchem ale když $\leq 0,3$ indikuje větší spotřebu kyslíku tím urychlení stárnutí (urychlené stárnutí).

Dalším pomocným kritériem je poměr $\text{CO}_2/\sum \text{C}_x\text{H}_y$. Je vhodný tehdy, když došlo k odplynění oleje a koncentrace rozkladových plynů je ve stopových množstvích. Velikost poměru < 100 a ≥ 10 signalizuje podezření na závady a poměr plynu < 10 indikuje poruchu transformátoru. Tento poměr používá např. fy ELDIAG Praha [43].

Poměr $\text{C}_2\text{H}_2/\text{H}_2$ je vhodný pro sledování průniku plynů z přepínacího ústrojí do nádoby transformátoru.

1.2.3 Veličiny stavu oleje

Pro studium stavu izolačních systémů transformátorů jsou důležité i další veličiny, které v práci jsou označeny jako **veličiny stavu oleje**. Jedná se především o tyto veličiny:

Průrazné napětí

Je měřítkem pro schopnosti oleje odolávat elektrickému namáhání. Jedná se o napětí při, kterém dojde k průrazu. Indikuje zda olej neobsahuje vodivé nečistoty, emulgovanou vodu anebo zda není přesycen plyny. Značí se U_p , udává se v kV/2,5mm.

Číslo kyselosti

Číslo kyselosti je mírou množství kyselin v oleji a tím posuzuje stupeň zestárnutí oleje a u nových strojů posuzuje stupeň rafinace oleje. Jedná se o měření kyselých složek nebo znečišťujících látek v oleji. Označuje se ČK. Udává se v mg KOH/g.

Ztrátový činitel při 20 °C, 70 °C, 90 °C

Vyjadřuje dielektrické ztráty. Dává celkový obraz o stavu oleje, reaguje na stárnutí oleje, ukazuje přítomnost polárních a iontových složek v oleji. Může indikovat vznik tepelného průrazu. Jeho teplotní závislost může odhalit přítomnost rozpuštěných látek v oleji. Značí se tg_{20} , tg_{70} a tg_{90} . Je to bezrozměrná veličina, která se někdy udává v % nebo jako 10^{-2} .

Relativní permitivita při 20 °C, 70 °C, 90 °C

Zobrazuje vliv prostředí na intenzitu elektrického pole. Je úměrná polarizaci. Pomáhá stanovit čistotu oleje a orientačně určuje stupeň zestárnutí. Označuje se ϵ_{r20} , ϵ_{r70} a ϵ_{r90} . Jedná se o bezrozměrnou veličinu.

Vnitřní rezistivita při laboratorní teplotě 20 °C, 70 °C, 90 °C

Indikuje stav izolačního oleje. Reaguje na přítomnost vodivých cizích látek a vody. Je to převrácená hodnota elektrické vodivosti. Závisí na vlhkosti, teplotě a velikosti měřicího napětí. Značí se ρ_{20} , ρ_{70} a ρ_{90} . Jeho jednotkou je Ωm .

Relativní mezipovrchové napětí na rozhraní olej-voda

Jedná se o sílu působící na jednotku délky povrchu kolmo k této délce a tangentě k ploše povrchu. Určuje stupeň zestárnutí oleje, reaguje především na vznik rozpustných kalů. Poskytuje prostředky pro detekci rozpustných polárních znečišťujících látek a produktů degradace. Značí se σ a jeho jednotkou je $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$.

Obsah vody rozpuštěné v izolačním oleji

Měření obsahu vody rozpuštěné v izolačním oleji stanoví přímo navlhnutí oleje. Značí se Q_v , jeho jednotkou je ppm neboli $\mu\text{l/l}$.

Hustota

Představuje méně významnou veličinu. Používá se především k rozřazení ropných produktů. Hustota oleje stoupá se stoupající molekulovou hmotností. Značí se ρ_v , udává se v $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ nebo $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Další podrobnosti jsou uvedeny např. v [2], [12], [19].

1.2.4 Veličiny stavu izolace vodičů

Jedná se především o tyto metody [2], [12]:

Izolační odpor

Měření izolačního indexu patří k jedné z nejstarších metod ověřování izolačního stavu transformátoru. Citlivě reaguje na nejslabší místo izolačního systému. Izolační odpor reaguje na vlhkost, vodivé nečistoty a vodivý průraz izolačního systému. Hodnota izolačního odporu je výrazně teplotně závislá (s rostoucí teplotou stroje klesá hodnota izolačního odporu), izolační odpor se odečítá v čase 15 a 60 sekund. Značí se R_{15} a R_{60} a jeho jednotka je Ω .

Ztrátový činitel

Měření ztrátového činitele izolační soustavy transformátoru má značný význam pro posouzení jejího stavu, dává obraz o celkovém stavu izolace. Velikost ztrátového činitele je ovlivněna polarizací měřeného dielektrika (množstvím přítomných polárních látek, např. vody, reakčních produktů stárnutí a tepelného namáhání izolace, mechanických mikronečistot), teplotou či cirkulací izolačního média, může indikovat její zestárnutí či navlhnutí. Charakterizuje činné ztráty polarizací v izolaci. Ztrátový činitel se značí $\text{tg}\delta$ a je v absolutní hodnotě bezrozměrný údaj. V praxi se často používá údaj vynásobený 10^2 .

Kapacita

Měření kapacity se samostatně pro hodnocení izolace nepoužívá. Její změny mohou indikovat poškození izolace a pomoci jí odhalit místo lokálního poškození. Sleduje se jako znak kvality izolace. Kapacita se značí C a obvykle se udává v pF.

Časová konstanta

Stanovení časové konstanty vinutí charakterizuje stav izolace. Absolutní velikost časové konstanty není závislá na geometrických rozměrech vinutí stroje, což v praxi znamená možnost objektivního vyhodnocení stavu izolační soustavy bez ohledu na výkon a typ stroje. Hodnota časové konstanty se vypočte podle vztahu:

$$\tau = R_{60} \times C_{50} \text{ [s]}, \quad (1)$$

kde:

R_{60} - izolační odpor v $M\Omega$ odečtený v čase 60 sekund po zapojení měřicího napětí,

C_{50} - je kapacita izolace v A změřená při 50 Hz.

Polarizační index

Stanovení polarizačního indexu charakterizuje stav izolace, a to přítomnost vlhkosti v ní. Získá se z časové závislosti průběhu izolačního odporu v 15 a 60s nebo odečtením absorpčního proudu v 15a 60s. Stanovuje se jednominutový polarizační index p_{i60} dle vztahu:

$$p_{i60} = \frac{R_{60}}{R_{15}} = \frac{i_{15}}{i_{60}} \text{ [-]}, \quad (2)$$

kde:

R_{15} - izolační odpor v $M\Omega$ odečtený v čase 15 sekund po připojení měřicího napětí,

R_{60} - izolační odpor v $M\Omega$ odečtený v čase 60 sekund po připojení měřicího napětí,

i_{15} - absorpční proud v A odečtený v čase 15 sekund po připojení měřicího napětí,

i_{60} - absorpční proud v A odečtený v čase 60 sekund po připojení měřicího napětí.

1.3 Expertní systémy

Další část disertační práce je věnována **expertním systémům**. Tyto byly zvoleny především proto, že jsou základem některých doposud existujících diagnostických systémů. Pro účely předkládané disertační práce byl navržen a následně realizován **originální diagnostický expertní systém**, pomocí kterého lze ohodnotit stav zkoumaných transformátorů na různé úrovni. Bylo také sledováno i samostatné možné použití tohoto systému, tedy bez následné implementace do nějakého **systému diagnostického**.

Expertní systém je praktická aplikace metod umělé inteligence. Jedná se o program pro řešení takových úloh, které jsou všeobecně považovány za obtížné a jejich uspokojivé řešení může provést pouze specialista v dané oblasti. Tyto systémy jsou založeny na myšlence převzetí znalostí od specialisty-experta a jejich vhodné reprezentaci tak, aby je program mohl využívat podobným způsobem jako expert. Především, aby dosáhl co nejlepších odezev systému na reálná data.

Součástí expertního systému je schopnost vysvětlit a zdůvodnit své postupy na základě použitých znalostí. Většina komunikace s expertním systémem probíhá pomocí dialogového režimu.

1.3.1 Historie expertních systémů

Expertní systém se poprvé objevil na začátku 70. lét 20. století. Tento systém byl a je chápán jako aplikace využívající znalosti **odborníka-experta** z určité oblasti. Mezi typické oblasti, ve kterých se expertní systém využívá je medicína, obchod, dále pak strojírenství, doprava aj.

První systém se objevil v roce 1971 pod názvem DENDRAL. Tento systém identifikuje organické sloučeniny z hmotového spektrogramu. K nejznámějším expertním systémům patří

MYCIN a PROSPECTOR. Systém MYCIN vznikl v roce 1976, provádí diagnózu u infekčních onemocnění krve a navrhuje terapii antibiotiky. V roce 1983 vznikl systém PROSPECTOR, který pomáhá odhalovat ložiska nerostů.

Ze systému MYCIN se vyvinuly systémy PUFF, vytvořený v roce 1983. Slouží k odhalení příčin problémů dýchacích cest. Dále pak systém ONCOCIN, který napomáhá určovat průběh léčby pacienta na onkologickém oddělení, systém CLOT, který diagnostikuje poruchy srážlivosti krve, systém DART, který byl určen k diagnostice závad počítačů, nebo systém EMYCIN tzv. prázdný systém, který se přidáním báze znalostí orientuje na danou problematiku.

Následovník systému DENDRAL byl systém AL/X, který rozpoznává závady na zařízení určeném pro těžbu ropy v Severním moři.

Systém, který se svou strukturou výrazně liší od systémů MYCIN a PROSPECTOR se nazývá INTERNIST a vznikl v roce 1984. Tento systém měl za cíl obsáhnout znalosti z oblasti interní medicíny. Je považován za jeden z nejobsáhlejších expertních systémů. Tento systém byl modifikován a rozšířen pod názvem CADUCEUS. Oba tyto systémy se používají dodnes.

1.3.2 Současný stav expertních systémů

Důležitým měřítkem při posuzování prázdných expertních systémů je nejen cena, ale i způsob reprezentace znalostí a velikost systému. Máme jednoduché, střední, velké a hybridní systémy.

Jednoduché systémy [13]: Umožňují rychle vytvořit malé znalostní systémy. Znalosti jsou uloženy v jediné bázi, která nepřesahuje 500 pravidel. Příkladem těchto systémů mohou být VP-EXPERT a EXSYS. VP-EXPERT patří mezi nejrozšířenější ve své kategorii. Pro reprezentaci znalostí se používají pravidla IF-THEN s neurčitostí vyjádřenou jako faktory jistoty. Tvrzení mají formu atribut-hodnota. Inferenční mechanismus pracuje v režimu zpětného řetězení. VP-EXPERT umožňuje zobrazit bázi znalostí graficky. EXSYS používá zpětné řetězení v síti pravidel IF-THEN-ELSE. Tvrzení mají podobu atribut-hodnota. Neurčitost se může přiřadit pouze k pravidlům, která odvozují cíl. Součástí systému je editor báze znalostí.

Střední systémy [13]: Umožňují obvykle vytvořit hierarchickou strukturu báze znalostí, pracují s neurčitostí a často nabízejí prostředky pro tvorbu obrazovek pro komunikaci s uživatelem. Příkladem je M.1 nebo GURU. M.1 je určen pro programátory, kteří chtějí vyvíjet aplikaci. Nemá vlastní editor báze. Systém vychází z EMYCINU a z Prologu. Pro reprezentaci znalostí nabízí pravidla IF-THEN s neurčitostí. Pracuje s atributy a hodnotami. GURU integruje relační databázi, tabulkový kalkulátor, grafiku, textový editor, expertní systém a modul pro komunikaci v přirozeném jazyce. Znalosti jsou reprezentovány pomocí pravidel IF-THEN a tvrzení atribut-hodnota. Část THEN může modifikovat bázi znalostí. Neurčitost je vyjádřena pomocí faktorů jistoty, způsob zpracování je možno volit.

Velké systémy [13]: Umožňují segmentování báze znalostí, nabízejí prostředky pro tvorbu uživatelského rozhraní. Zástupci jsou S.1, AION a SYNTEL.

Tuzemské expertní systémy: Za klasické prázdné expertní systémy se označují systémy CODEX, FEL-EXPERT, EQUANT, SAK, SOLARIS, BEX, IZOLEX, CVEX, CVEXON, ALTONEX.

CODEX je zřejmě první náš expertní systém. Vyznačuje se použitím netypických technických prostředků. Pracuje s výroky reprezentovanými pomocí rámců a s pravidly. Práce s neurčitostí je řešena pomocí vícestupňové logiky a pomocí atributů jistoty.

FEL-EXPERT má tvořenou bázi znalostí výroky a pravidly. Systém umožňuje pracovat s řídicími kontextovými vazbami a s numerickými veličinami dvou typů. Práce s neurčitostí vychází z pseudobayesovského přístupu. Systém pracuje s apriorními váhami výroků [13].

SAK umožňuje pracovat se dvěma inferenčními mechanismy a to logickým a standardním [13].

SOLARIS pracuje s tvrzeními, koncepty a obecnými relacemi, které lze interpretovat jako pravidla. Dále nabízí možnost vytváření uživatelských funkcí, které jsou volány během konzultace. Tyto funkce se používají i pro práci s neurčitostí. Inferenční mechanismus používá kombinaci zpětného a přímého řetězení [13].

BEX je založený na rámcích a produkčních pravidlech. Umožňuje pracovat se symbolickými, logickými a numerickými hodnotami. Neurčitost je vyjádřena pomocí míry jistoty. Při inferenci používá zpětné i dopředné řetězení a agendy. Umožňuje pracovat s externími procedurami [13].

IZOLEX je pravidlový expertní systém vybudovaný jako nástavba prázdného expertního systému Spel-Expert. Je určen pro vyhodnocování izolačních měření off-line vysokonapětových izolačních systémů elektrických strojů. Vyhodnocuje diagnostická měření ze 38 běžně používaných metod off-line točivých, netočivých strojů a izolačních olejů [18].

CVEX je pravidlový expertní systém sloužící pro vyhodnocení výbojové činnosti off-line na vysokonapětových elektrických točivých strojích a to pomocí galvanické metody částečných výbojů [18].

CVEXON je pravidlový expertní systém sloužící pro hodnocení výbojové činnosti on-line. Na rozdíl od předcházejícího expertního systému, má vstupní data z měřiče částečných výbojů přes A/D převodník přímo do počítače [18].

ALTONEX je určen pro monitorování stavu točivého stroje a zpracovává diagnostická měření on-line [18].

ORGREZ Diagnostics je informační s integrovaným expertním systémem pro oblast diagnostiky. Základem expertního systému je prázdný expertní systém Acquire 2.1. Jedná se o pravidlový systém. K bázi znalostí lze přistupovat metodou klient/server nebo souborovým způsobem. Slouží ke zpracování, vizualizaci, prezentaci a archivaci dat z měření a zkoušek izolační soustavy elektrických strojů točivých, výkonových a přístrojových transformátorů, vypínačů a kondenzátorů [38].

1.3.3 Charakteristické rysy

Expertní systém **je charakterizován** těmito rysy:

- a) Oddělení znalostí a mechanismu pro jejich využívání
Znalosti experta jsou uloženy v bázi znalostí odděleně od inferenčního mechanismu. To umožňuje vytvářet problémově nezávislé expertní systémy, kde inferenční mechanismus může pracovat s různými bázemi znalostí.
- b) Neurčitost v bázi znalostí
V bázi znalostí se kromě exaktně dokázaných znalostí vyskytují i zkušenosti experta, ve kterých se mohou vyskytnout heuristické jako pojmy často, občas, možná, aj., které je třeba kvantifikovat.
- c) Neurčitost v datech
Konkrétní data o řešeném případě bývají zatížena neurčitostí způsobenou nepřesně určenými hodnotami nebo subjektivním pohledem uživatele.
- d) Dialogový režim
Expertní systém je většinou tvořen jako tzv. konzultační systém. Uživatel se systémem komunikuje formou dotazu systému a odpovědi uživatele.
- e) Vysvětlovací činnost

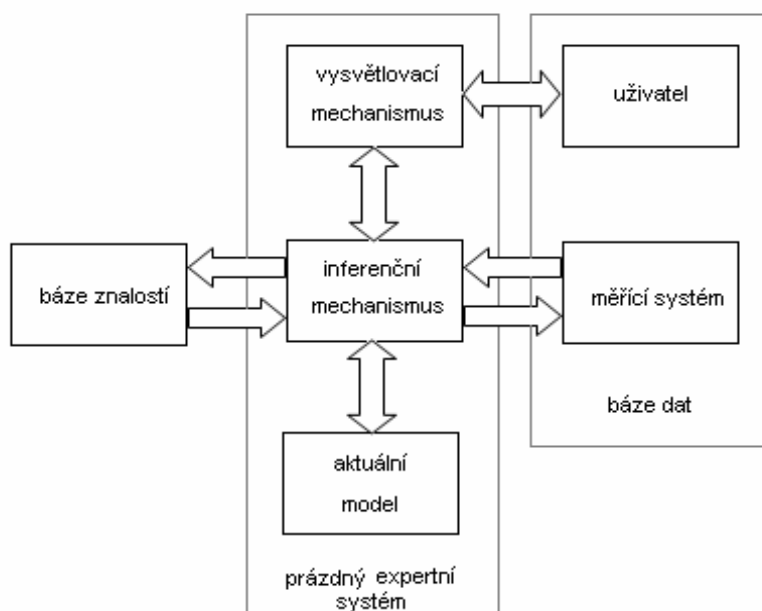
Pro zvýšení důvěry k přijatým závěrům a doporučením by měl být systém schopen poskytnout vysvětlení svého uvažování, vysvětlit a zdůvodnit všechny dílčí závěry a doporučení.

- f) Modularita a transparentnost báze znalostí
Báze znalostí je rozhodující pro účinnost expertního systému. Modularita umožňuje snadnou aktualizaci této báze a také její čitelnost a srozumitelnost.

1.3.4 Typy expertních systémů

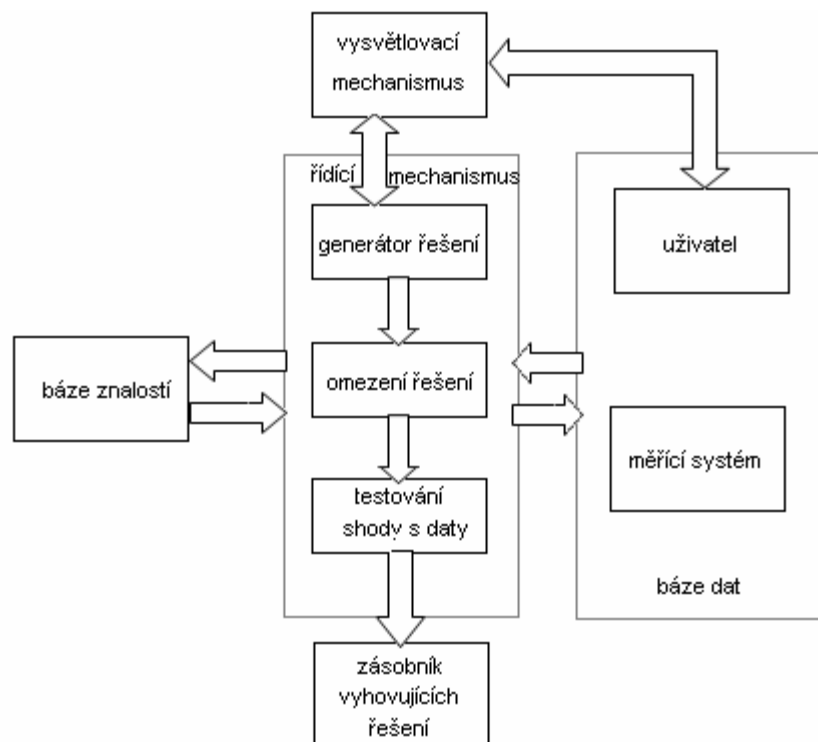
Existují dva základní druhy expertních systémů, a to **diagnostický** a **plánovací**. Často jsou oba obsaženy v jednom expertním systému.

- a) Diagnostický expertní systém
Tento systém je stanoven pro efektivní interpretaci dat s cílem určit hypotézu, která nejlépe koresponduje s reálnými daty. Řešení probíhá formou postupného ohodnocování dílčích a cílových hypotéz v rámci pevně daného modelu řešeného problému. Blokové schéma daného systému je znázorněna na obr. 1.23.



Obr. 1.23 Blokové schéma diagnostického expertního systému

- b) Plánovací expertní systém
Expertní systém je určen k řešení úloh v stavovém prostoru, kdy je znám počáteční stav objektu a cíl řešení. Systém má nalézt posloupnost kroků tak, aby dosáhl co nejoptimálněji cíle. Hlavní částí je generátor možných řešení, který vytváří kombinace posloupností operátorů. U těchto řešení testuje shodu s bází dat a výsledkem je seznam přípustných řešení. Blokové schéma systému je na obr. 1.24.
- c) Hybridní expertní systém
Je to smíšený systém vzniklý kombinací dvou předchozích systémů. Tento systém má kombinovanou architekturu. Nabízí bohatší prostředky pro reprezentaci znalostí než systémy založené na pravidlech. To umožňuje vytvářet komplexnější znalostní systémy. Využívá se jako výukový nebo monitorovací systém. Důležitým nástrojem je prázdný expertní systém.



Obr. 1.24 Blokové schéma plánovacího expertního systému

1.3.5 Struktura expertních systémů

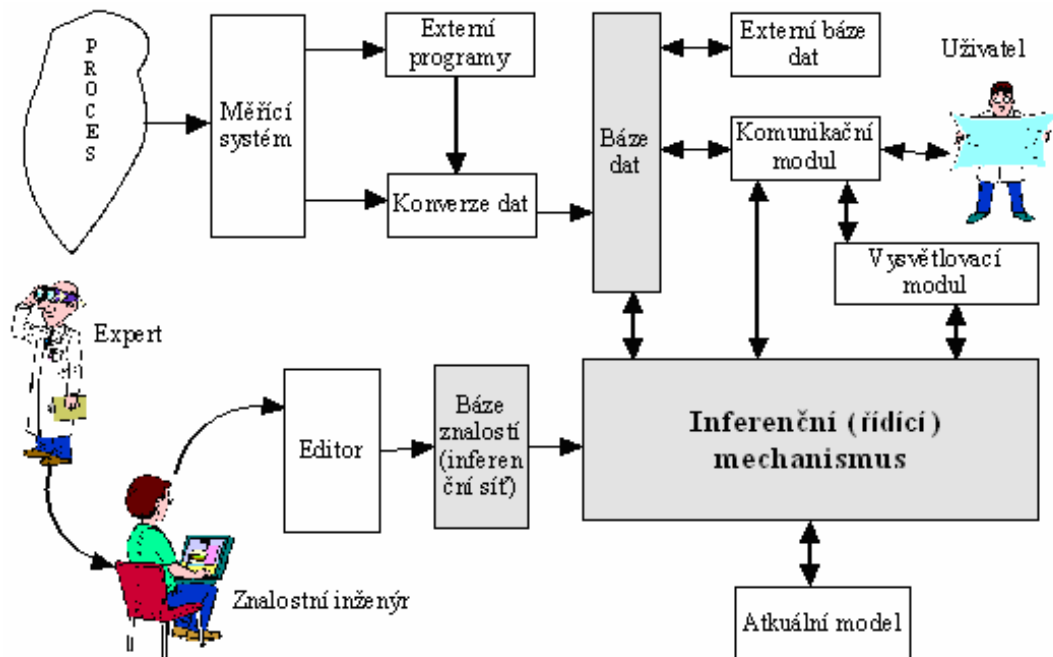
Expertní systémy jsou tvořeny základními, přídatnými a doplňkovými složkami. Přičemž základní složky jsou součástí diagnostických i plánovacích expertních systémů. Podrobná struktura expertního systému je znázorněna na obr. .

a) Základní složky

- **Báze znalostí (pravidel)**
Je to pasivní datová struktura, tvořená pravidly, znalostmi a zkušenostmi experta. Jedná se o znalosti nejobecnějšího charakteru až po úzce speciální. Speciální znalosti jsou znalosti experta získané praxí, rozsah a kvalita těchto znalostí jsou jedním z určujících faktorů, na základě kterých je posuzování kvality expertního systému. Znalosti jsou zde ukládány a podléhají určité organizaci.
- **Báze dat (faktů)**
Je to dynamická datová struktura, která obsahuje data k řešení zcela konkrétního případu. Během procesu vyvozování závěru se do báze dat ukládají nová odvozená data, fakty, výsledky a mezivýsledky, to znamená, že její obsah se v průběhu konzultace stále mění.
- **Inferenční (řídící) mechanismus**
Jedná se o jádro systému, programový modul, který udává strategii využívání znalostí z báze znalostí a zprostředkovává komunikaci mezi bází znalostí a bází dat. Inferenční mechanismus určuje jak a v jakém pořadí aplikovat pravidla na bázi dat. Podle způsobu odvozování cílových hypotéz řídící mechanismy rozdělít na:
 - o **zpětné řetězení**: jedná se o usuzování řízené cíli. Vychází se od daného cíle a je nutné zpětně analyzovat požadavky jeho dosažitelnosti.

Odvozovací mechanismus vychází z důsledkové části pravidel a zjišťuje, jestli jsou splněny jejich předpokladové části.

- o dopředné řetězení: jedná se o usuzování řízené daty. Vychází se z výchozích faktů, neboli z údajů v bázi dat. Získávají se potřebná data a na jejich základě se rozhoduje. Obvykle jsou všechny relevantní fakta pro důkaz určité hypotézy známy předem a hledá se právě hypotéza, kterou tyto fakty dokazují.



Obr. 1.25 Struktura expertního systému [15]

– Inferenční (řídící) mechanismus

Jedná se o jádro systému, programový modul, který udává strategii využívání znalostí z báze znalostí a zprostředkovává komunikaci mezi bází znalostí a bází dat. Inferenční mechanismus určuje jak a v jakém pořadí aplikovat pravidla na bázi dat. Podle způsobu odvozování cílových hypotéz řídící mechanismy rozdělil na:

- o zpětné řetězení: jedná se o usuzování řízené cíli. Vychází se od daného cíle a je nutné zpětně analyzovat požadavky jeho dosažitelnosti. Odvozovací mechanismus vychází z důsledkové části pravidel a zjišťuje, jestli jsou splněny jejich předpokladové části.
- o dopředné řetězení: jedná se o usuzování řízené daty. Vychází se z výchozích faktů, neboli z údajů v bázi dat. Získávají se potřebná data a na jejich základě se rozhoduje. Obvykle jsou všechny relevantní fakta pro důkaz určité hypotézy známy předem a hledá se právě hypotéza, kterou tyto fakty dokazují.

b) Přídavné složky

– Komunikační modul

Zprostředkovává komunikaci mezi systémem a uživatelem. Komunikace probíhá pomocí vkládání dat v dialogovém režimu, načtením dat z databázového souboru nebo ze vstupního formuláře.

K hlavním funkcím komunikačního modulu patří spouštění a ukončení činnosti systému jako celku, realizuje dialog během odvozování a obsluhuje příkazy a požadavky uživatele.

- Vysvětlovací modul
Umožňuje zdůvodnit způsob řešení problému i jeho výsledek. Tím se zviditelňuje rozhodovací činnost tak, aby výsledku uživatel rozuměl a mohl ho přijmout. Vysvětlovací modul musí umět odpovědět na otázky dvou základních typů. První typ je soubor otázek proč odvozuje určitý fakt, proč volí konkrétní alternativu rozhodování nebo proč požaduje od uživatele daný údaj atd. Do druhé kategorie spadají otázky jak odvodil daný fakt, jak dospěl k danému výsledku, jak dospěl ke konkrétní alternativě řešení aj.
 - Generátor výsledků
Zabezpečuje prezentaci výsledků řešení problému. Ze získaných odvozených faktů zařadí do závěrečné zprávy jen ty, které bezprostředně souvisí s dosaženým výsledkem.
 - Aktuální model
Tento model vyjadřuje reprezentaci současného stavu řešení úlohy, tj. množinu všech momentálně platných poznatků a faktů. K jeho změně může dojít dvojím způsobem:
 - o přidáním dalšího údaje do báze dat – dojde k rozšíření báze dat i aktuálního modelu.
 - o odvozením nového poznatku na základě aktuálního modelu – toto odvození může mít za následek kromě přidání nového poznatku také vyloučení některých poznatků z aktuálního modelu, který platil v předcházejícím okamžiku.
- c) Doplnkové složky
- Modul externích dat
Tento modul je obsažen v expertním systému pokud je expertní systém složkou programového vybavení počítače, který ovládá přístroje či zařízení.
 - Modul externích programů
Se týká vzájemné interakce expertního systému s externími programy.

1.3.6 Výhody a nevýhody expertních systémů

- a) Výhody
Poskytuje pořád stejné výsledky i po delší časové prodlevě. Může pracovat 24 hodin denně, na jakémkoliv počítačovém hardwaru. Jeho rozhodování neovlivňují žádné faktory jako je stres, únava, psychická a fyzická kondice, Systém rychle reaguje na vstupní požadavky a dokáže jednoznačně zdůvodnit své výroky a závěry.
- b) Nevýhody
Počítače mají omezené uvažování. Jejich myšlení není kreativní, uvažují pouze v tendencích zadaných člověkem. Znalosti a dovednosti člověka se časem a získanými zkušenostmi vyvíjejí ale expertní systém bez zásahu člověka bude stále navrhopat stejné postupy nehledě na to kolik uběhlo času. Dále pak člověk nemůže předat všechny své zkušenosti a vědomosti předat počítači.

1.3.7 Softwarové prostředky

Rozlišujeme tři základní **typy softwarových nástrojů** na externích systémech:

- a) Programovací jazyky
Základními jazyky jsou LISP a PROLOG
Jazyk LISP se především používá pro tvorbu specializovanějších prostředků. Jeho jedinou datovou strukturou používanou pro reprezentaci dat i pro zápis programu je seznam (list). Místo sledu příkazů se program vytváří komponováním funkcí. Tento způsob programování se nazývá funkcionální programování. Výhodou jsou efektivní programy s jasným významem.
Jazyk PROLOG patří do logického programování. Princip zápisu programu je v predikátové logice prvního řádu. Předností je deskriptivní přístup popisu řešení problému. Program popisuje známá fakta a vztahy platící pro daný problém.
- b) Prázdné expertní systémy
Je to expertní systém bez báze znalostí. Plnohodnotný systém z něho vznikne vytvořením báze znalostí, ve kterém jsou uloženy znalosti experta. Prázdné systémy k tomu poskytují nástroje. Jsou vhodné pro tvorbu malých a středních systémů. Nemají velké nároky na hardware a jsou lacinější než vývojová prostředí. Jejich vyjadřovací schopnosti jsou orientované více na počítač než na člověka.
- c) Prostředí znalostního inženýrství
Vývojové prostředí je softwarová podpora na tvorbu rozsáhlých a složitých expertních systémů. Má dokonalou grafickou podporu, podpůrné nástroje pro práci s rozmanitými prostředky reprezentace poznatků apod. Tyto prostředí jsou značně finančně náročné.

2 Praktická část

2.1 Popis datového souboru

Pro praktickou část práce byly použity **transformátory z energetického provozu**, jejichž podrobnosti jsou v tab. 2.1. Zde jsou uvedeny vybrané parametry posuzovaných transformátorů, tedy jejich zvolené číselné označení, místo provozu, rok výroby, rok ukončení provozu, počet vinutí, převod, výkon, proud, druh oleje a hmotnost oleje.

Označení transformátorů bylo zvoleno číselné, čísla **1–9** a toto značení je používáno v celé disertační práci. V tabulce je dále uvedeno konkrétní **místo provozu**, např. Dalešice, čímž je myšlena přečerpávací vodní elektrárna Dalešice. **Rok výroby** transformátoru je zároveň i rokem uvedení transformátoru do provozu. Další položkou v tabulce je **rok ukončení provozu**. Pokud není kolonka vyplněna, je transformátor ještě funkční. Následuje specifikace **počtu vinutí, převodu, výkonu a proudu**. Důležitou informací je **druh oleje**, případně jeho **hmotnost**. Je používán olej s označením BTSi, což je transformátorový olej minerální inhibovaný olej s elektrickou pevností i větší než $300 \text{ kV}\cdot\text{cm}^{-1}$. Olej s označením DIALA je vysoce rafinovaný minerální olej neinhibovaný. Transformátorový olej ITO je minerální olej inhibovaný, snadno biologicky odbouratelný.

Uvedené transformátory byly voleny takto záměrně. Z obecného hlediska je sledována doba provozu, počet vinutí, výkon a druh provozu transformátorů. V předkládané disertační práci je pozornost soustředěna především dle konstatování v úvodní kapitole na **kapalný izolant (olej) a izolant pevný (papír-celulóza)**.

V předkládané disertační práci jsou využity výsledky **plynové chromatografie, poměrů plynů, veličin stavu oleje a veličin stavu izolace vodičů**. Podrobnosti lze nalézt v kap.1.2, konkrétně v kap. 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3 a 1.2.4. Následně je pozornost soustředěna na vývoj a tvorbu **expertního systému** a jeho ověření na základě datového souboru.

V souvislosti s výše uvedeným byl k dispozici značně **rozsáhlý datový soubor**. Tento soubor je uložen na školícím pracovišti. Před použitím příslušných dat byl datový soubor náležitě analyzován, např. s využitím matematické statistiky. I přes značnou velikost datového souboru byla pro disertační práci použita jen data u zvolených 9 transformátorů, a to z důvodu jejich relativní kompletnosti u jednotlivých transformátorů. Přes tuto snahu však nebyla k dispozici data měřená např. ve stejných časových intervalech nebo data nebyla vždy kompletní. Pro názornost jsou na obr. 2.3, obr. 2.4 a obr. 2.5 uvedeny časové závislosti vybraných veličin.

Na obr. 2.1 a obr. 2.2 jsou **konkrétní příklady** v disertační práci používaných **transformátorů**.

V následující části předkládané disertační práce je rozebrána problematika **výsledků plynové chromatografie** (kap. 2.2), **vybraných ostatních výsledků** (kap.2.3) a **expertních systémů** (2.4).

Tab. 2.1 Vybrané parametry transformátorů

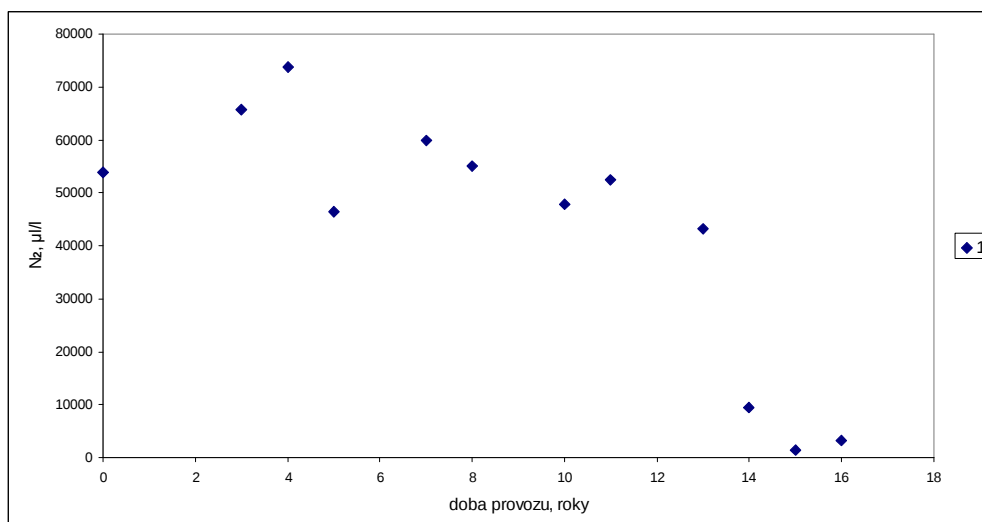
Označení transformátorů	Místo provozu	Rok výroby	Rok ukončení provozu	Počet vinutí	Převod	Výkon [MVA]	Proud [A]	Druh oleje	Hmotnost oleje [kg]
1	Dalešice	1978	2008	3	420/13,8/13,	245/127/127	349/5313/5313	BTSi	21000
2	Dalešice	1978		3	420/13,8/13,	245/127/127	349/5313/5313	BTSi	25400
3	Slapy	1954		2	110/10,5	63	317/3460	BTSi	24000
4	Slapy	1953		2	110/10,5	63	317/3460	BTSi	17000
5	Slapy	1956	2008	2	110/10,5	63	317/3460	BTSi	24000
6	Kamík	1998		2	121/10,5	25	119/1375	DIALA	7850
7	Kamík	1983		2	121/10,5	25	150/1732	BTSi	14840
8	Dlouhé Stráně	1993		2	420/22	360	495/9446	ITO 200	57500
9	Dlouhé Stráně	1993		2	420/22	360	495/9448	ITO	57000



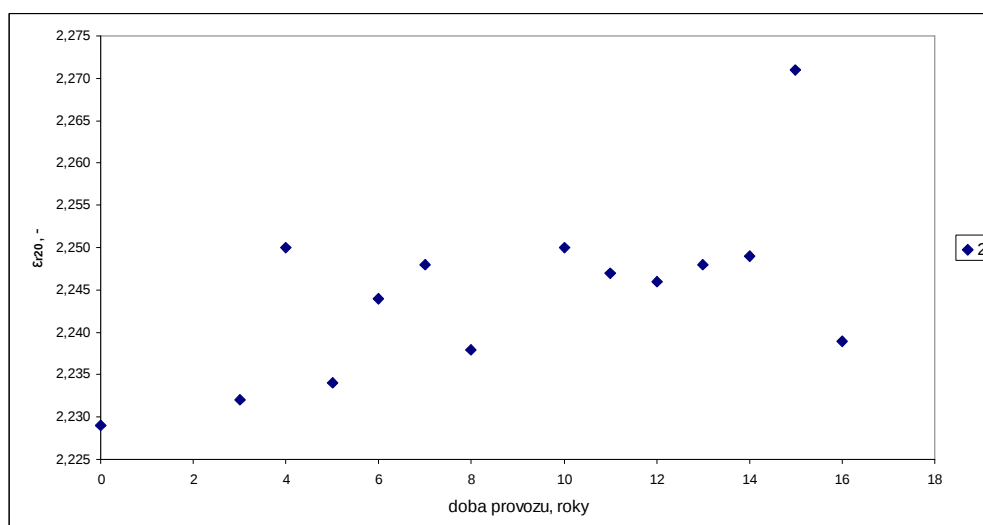
Obr. 2.1 Blokové transformátory v Dalešicích



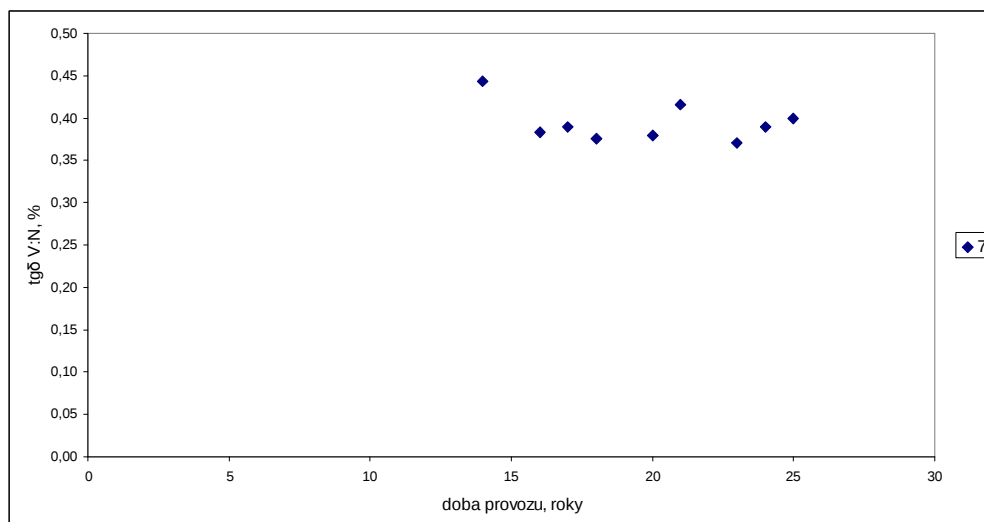
Obr. 2.2 Transformátor 1



Obr. 2.3 Časová závislost N_2 u transformátoru 1



Obr. 2.4 Časová závislost ϵ_{r20} u transformátoru 2



Obr. 2.5 Časová závislost tgδ pro zapojení V:N u transformátoru 7

2.2 Výsledky plynové chromatografie

Posouzení **výsledků plynové chromatografie** bylo v disertační práci rozděleno na tři části. Nejprve byla pozornost soustředěna na **rozbory vybraných vlastností časových řad** (kap.2.2.1), dále na **rozbory teplotních závislostí plynů** (kap.2.2.2) a nakonec na **vybrané metody poměrů plynů** (kap.2.2.3). V kap. 2.2.4 je provedeno **shrnutí výsledků**.

2.2.1 Rozbor vybraných vlastností časových řad

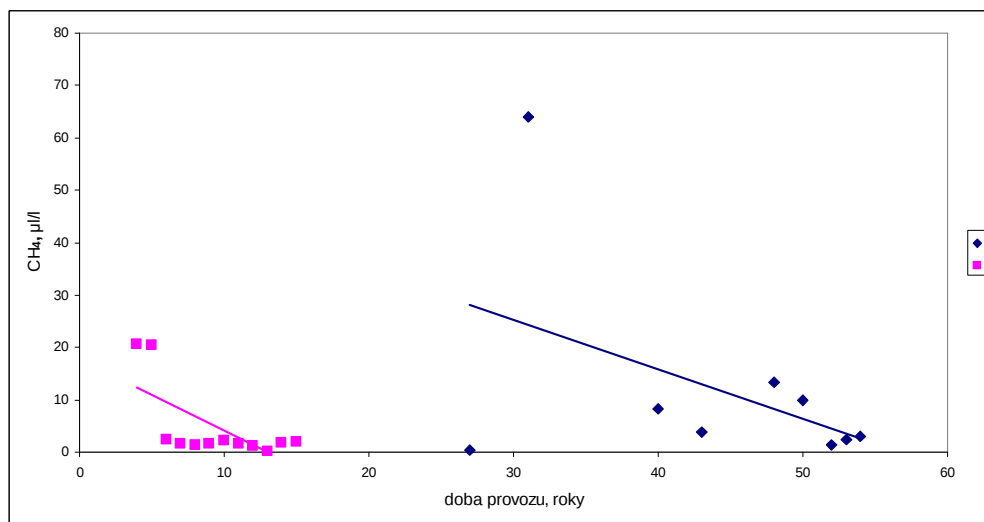
V této části práce je pozornost soustředěna na **rozbory časové závislosti jednotlivých plynů v závislosti na době provozu**. Časové závislosti byly graficky a početně zpracovány za účelem získání rovnice proložení grafu a koeficientu korelace proložení. Rovněž byl sledován trend vývoje plynů a také vzájemná závislost jednotlivých plynů mezi sebou. Tyto závislosti byly hodnoceny na základě koeficientu korelace. Z grafických průběhů vyplynulo, že sledovaný datový soubor obsahuje v některých případech „**extrémní**“ hodnoty, což bylo také dokázáno i na základě matematické statistiky, konkrétně pomocí krabicových grafů. V dalším postupu byly tyto hodnoty vyřazeny a datový soubor **upravený** byl analyzován znovu předcházejícím způsobem. Takto naznačený postup byl zvolen z důvodu, že v průmyslové praxi se vychází při rozboru časových závislostí většinou pouze z naměřených hodnot. Proto v této práci byl sledován i vliv vyřazení extrémních hodnot na základě postupů matematické statistiky na výsledky a závěry. Oba soubory jsou z hlediska výsledků porovnány.

Na závěr této kapitoly jsou rozebrány některé výsledky také z **hlediska chemických dějů**. Tento postup byl zvolen i na základě vyhodnocení trendů plynů pro jednotlivé transformátory, neboť **nebyla nalezena odpovídající a dostatečná souvislost** např. mezi dobou provozu transformátoru a plyny, které jsou projevem dějů v celulóze a oleji.

Grafické zpracování časových průběhů vybraných plynů v závislosti na době provozu je znázorněno pro dva transformátory na obr. 2.6, obr. 2.7, obr. 2.8, obr. 2.9, obr. 2.10 a obr. 2.11.

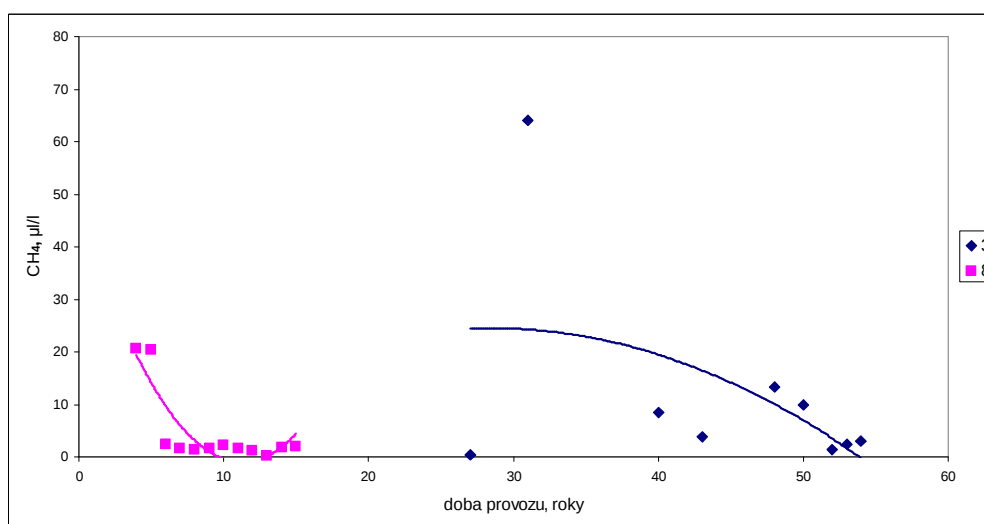
Na obr. 2.6 je grafická závislost CH_4 proložena lineárně pro transformátor 3 a 8. V tab. 1.1 (Příloha 1) je pro tuto lineární závislost uvedena rovnice proložené přímky. Pro transformátor 3 má rovnice tvar: $y = -0,9395x + 53,423$, pro transformátor 8: $y = -1,3584x + 17,73$. V tab. 2.2 je jejich koeficient korelace, pro transformátor 3 je hodnota: 0,4609, pro transformátor 8: 0,6628.

Pro všechny transformátory je rovnice přímky uvedena v tab. 1.1 (Příloha 1). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí: $y = -ax + b$, kde v těchto konkrétních případech a nabývá hodnot $\langle 0,1203; 8,0972 \rangle$ a b nabývá hodnot $\langle 2,5355; 109,24 \rangle$ pro transformátory 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 anebo rovnicí $y = ax - b$, kde a nabývá hodnot $\langle 0,405; 1,01 \rangle$ a b nabývá hodnot $\langle 4; 6,6604 \rangle$ pro transformátory 5, 6. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.2.



Obr. 2.6 Lineární proložení grafu časové závislosti CH₄ u transformátoru 3 a 8

Na obr. 2.7 je grafická závislost CH₄ proložena polynomm 2. stupně pro transformátor 3 a 8. V tab. 1.1 (Příloha 1) je pro tuto závislost uvedena rovnice proložené křivky. Pro transformátor 3 má rovnice tvar: $y = -0,0378x^2 + 2,1489x - 6,0301$, pro transformátor 8: $y = 0,3844x^2 - 8,6628x + 47,844$. V tab. 2.2 je jejich koeficient korelace, pro transformátor 3 je hodnota: 0,4790, pro transformátor 8: 0,8761.



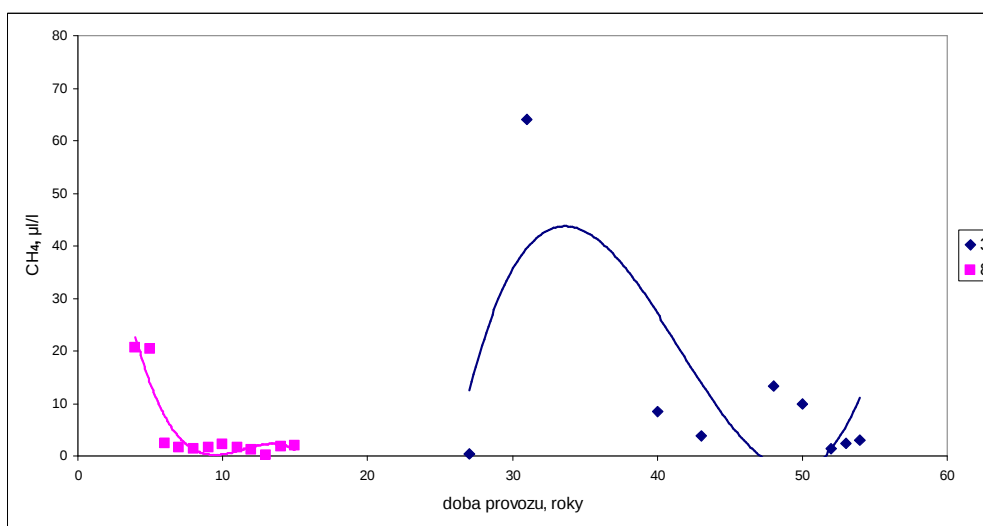
Obr. 2.7 Graf proložení polynomm 2. stupně časové závislosti CH₄ u transformátoru 3 a 8

Pro všechny transformátory je rovnice křivky uvedena v tab. 1.1 (Příloha 1). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí: $y = ax^2 - bx + c$, kde a v těchto konkrétních případech nabývá hodnot $\langle 0,0112; 0,5643 \rangle$ b nabývá hodnot $\langle 0,3013; 17,207 \rangle$ a c nabývá hodnot $\langle 3,0058; 133,72 \rangle$ pro transformátory 1, 2, 6, 7, 8, 9 nebo rovnicí $y = -ax^2 + bx - c$, kde

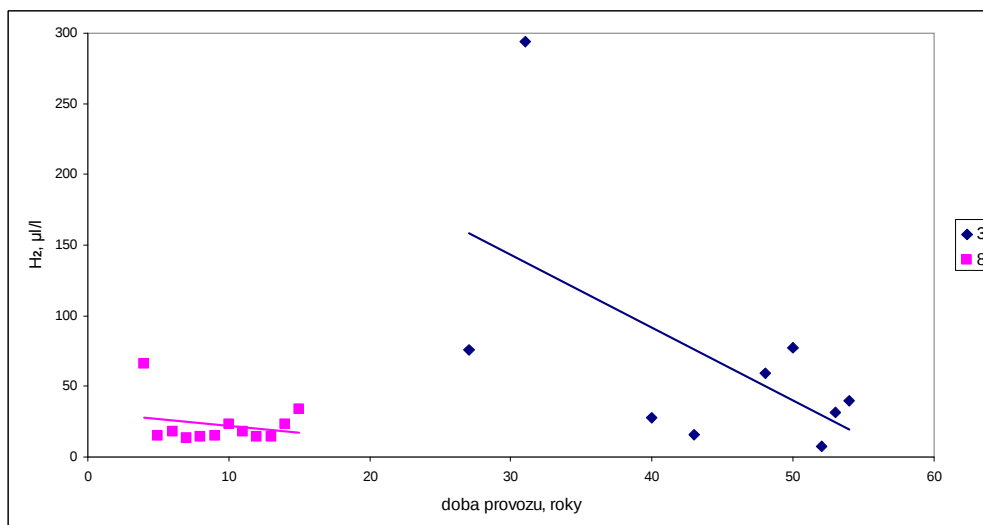
a nabývá hodnot $\langle 0,0282; 0,3341 \rangle$, b nabývá hodnot $\langle 2,1489; 14,92 \rangle$ a c nabývá hodnot $\langle 6,0301; 182,61 \rangle$ pro transformátory 3, 4, 5, 7. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.2.

Na obr. 2.8 je grafická závislost CH_4 proložena polynomem 3. stupně pro transformátor 3 a 8. tab. 1.1 (Příloha 1) je pro tuto závislost uvedena rovnice proložené křivky. Pro transformátor 3 je hodnota: $y = 0,0235x^3 - 2,9255x^2 + 117,08x - 1478,1$, pro transformátor 8: $y = -0,0658x^3 + 2,259x^2 - 25,07x + 90,959$. V tab. 2.2 je jejich koeficient korelace, pro transformátor 3 je hodnota: 0,6948, pro transformátor 8: 0,9225.

Pro všechny transformátory je rovnice křivky uvedena v tab. 1.1 (Příloha 1). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí: $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde a v těchto konkrétních případech nabývá hodnot $\langle 0,005; 0,5625 \rangle$, b nabývá hodnot $\langle 0,1087; 39,3 \rangle$, c nabývá hodnot $\langle -0,7142; 912,54 \rangle$ a d nabývá hodnot $\langle -116,19; 7038,1 \rangle$ pro transformátory 1, 2, 3, 7 nebo rovnicí $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde a nabývá hodnot $\langle 0,001; 0,5167 \rangle$, b nabývá hodnot $\langle 0,107; 12,96 \rangle$, c nabývá hodnot $\langle 2,0136; 105,46 \rangle$ a d nabývá hodnot $\langle 14,712; 389,55 \rangle$ pro transformátory 5, 6, 8, 9. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.2.

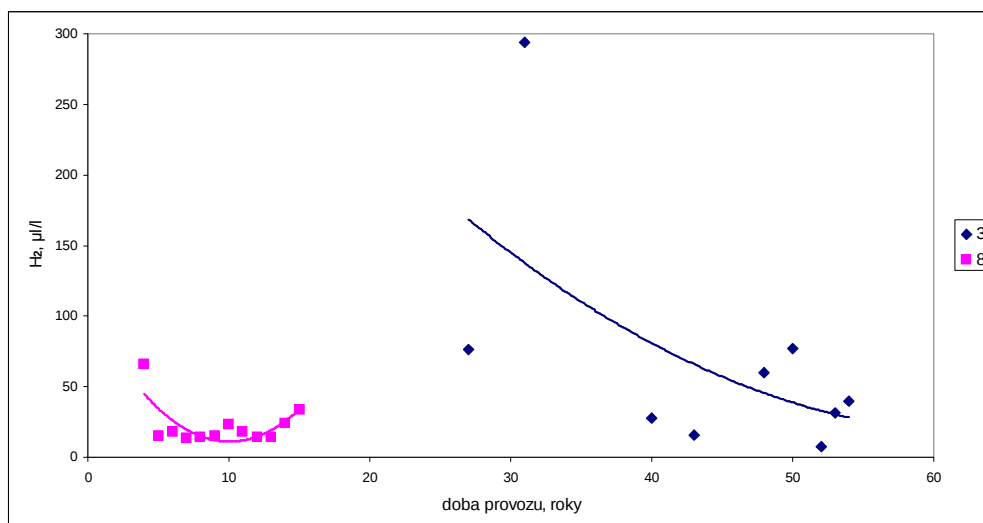


Obr. 2.8 Graf proložení polynomem 3. stupně časové závislosti CH_4 u transformátoru 3 a 8

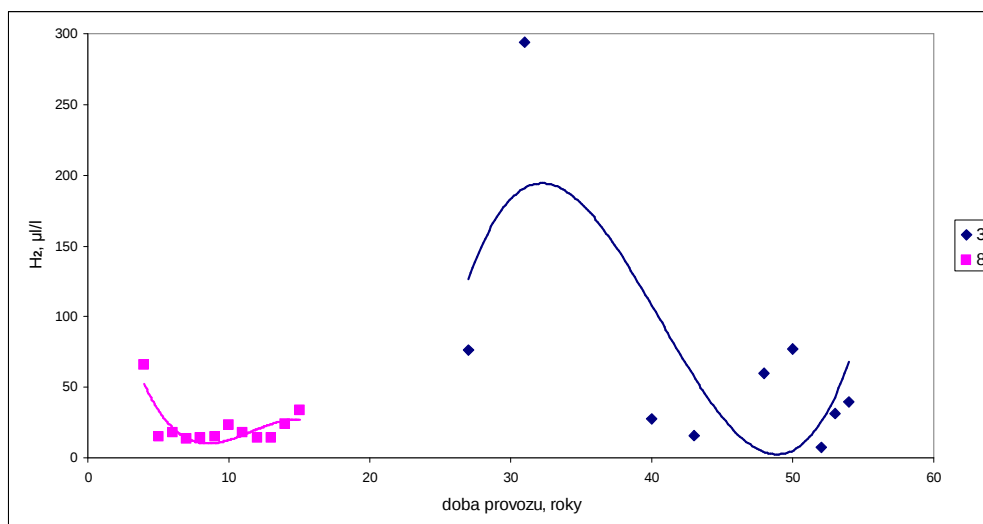


Obr. 2.9 Lineární proložení grafu časové závislosti H_2 u transformátoru 3 a 8

Z uvedených výsledků je patrné, že pro tento plyn je nejvhodnější proložení polynorem 3. stupně.



Obr. 2.10 Graf proložení polynorem 2. stupně časové závislosti H₂ u transformátoru 3 a 8



Obr. 2.11 Graf proložení polynorem 3. stupně časové závislosti H₂ u transformátoru 3 a 8

Výsledky rozboru trendu vývoje plynů jsou shrnuty v tab. 2.3. Pro hodnocení se vycházelo pouze z lineárního proložení. Pro CH₄ lze obecně konstatovat, že trend vývoje plynů má ve většině případů (7 případů) klesající charakter.

Na obr. 2.9 je grafická závislost H₂ proložena lineárně pro transformátor 3 a 8. V tab. 1.1 (Příloha 1) je pro tuto lineární závislost uvedena rovnice proložené přímky. Pro transformátor 3 má rovnice tvar: $y = -5,1154x + 296,03$, pro transformátor 8: $y = -0,9762x + 31,607$. V tab. 2.2 je jejich koeficient korelace, pro transformátor 3 je hodnota: 0,5731, pro transformátor 8: 0,2366.

Pro všechny transformátory je rovnice přímky uvedena v tab. 1.1 (Příloha 1). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí: $y = -ax + b$, kde a v těchto konkrétních případech nabývá hodnot $\langle 0,251; 5,1154 \rangle$ a b nabývá hodnot $\langle 7,3454; 296,03 \rangle$ pro transformátory 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 nebo rovnicí $y = ax - b$, kde a nabývá hodnot $\langle 0,39; 1,5532 \rangle$ a b nabývá hodnot $\langle -19,32; 33,936 \rangle$ pro transformátory 5, 6. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.2.

Tab. 2.2 Koeficient korelace proložení časové závislosti plynů pro jednotlivé transformátory

Plyn	Koeficient korelace proložení		Transformátor								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
CH ₄ (t)	lineární		0,4443	0,3625	0,4609	0,5428	0,3332	0,7424	0,5603	0,6628	0,2966
	polynomem	2. stupně	0,4659	0,3974	0,4790	1,0000	0,3672	0,8899	0,7928	0,8761	0,3986
		3. stupně	0,4845	0,4943	0,6948		0,5460	0,9998	1,0000	0,9225	0,3987
C ₂ H ₆ (t)	lineární		0,2496	0,2731	0,1507	0,3292	0,5297	0,1072	0,2670	0,5221	0,0866
	polynomem	2. stupně	0,2696	0,2751	0,5908	1,0000	0,5342	0,6442	0,9000	0,7376	0,1058
		3. stupně	0,2782	0,4390	0,6013		0,7690	0,9898	1,0000	0,8516	0,1345
C ₂ H ₄ (t)	lineární		0,5157	0,1825	0,1285	0,4503	0,7889	0,3274	0,8244	0,5089	0,0057
	polynomem	2. stupně	0,5310	0,6794	0,6407	1,0000	0,8366	0,5426	0,9309	0,7347	0,1378
		3. stupně	0,5371	0,7196	0,6565		0,8375	0,9995	1,0000	0,8591	0,2755
C ₂ H ₂ (t)	lineární		0,0224	0,4127	0,6235	0,7736	0,6837	0,1939	0,7691	0,0316	0,0700
	polynomem	2. stupně	0,3887	0,4283	0,6430	1,0000	0,6927	0,7031	0,7701	0,7337	0,4578
		3. stupně	0,3895	0,4923	0,7720		0,7382	0,9855	1,0000	0,7338	0,4581
C ₃ H ₈ (t)	lineární		0,2890	0,3243	0,6068	0,0787	0,4738	0,3154	0,8767	0,3900	0,6406
	polynomem	2. stupně	0,4206	0,6419	0,6210	1,0000	0,8102	0,4909	0,9046	0,7070	0,6956
		3. stupně	1,0000	0,7006	0,8024		0,8218	0,9145	1,0000	0,8346	0,6996
C ₄ H ₁₀ (t)	lineární				0,0975		0,6427	0,1039	0,3801	0,2243	0,5766
	polynomem	2. stupně			0,4005		0,6969	0,8782	0,4332	0,6204	0,6164
		3. stupně			0,6204		0,7180	0,9773	1,0000	0,6857	0,6265
ΣC _x H _y (t)	lineární		0,5436	0,1273	0,2464	0,2214	0,5584	0,4217	0,2435	0,5590	0,0825
	polynomem	2. stupně	0,5486	0,4397	0,4584	1,0000	0,5759	0,5609	0,9802	0,8021	0,1330
		3. stupně	0,5797	0,4422	0,5476		0,7119	0,9963	1,0000	0,9093	0,1977
H ₂ (t)	lineární		0,1778	0,1637	0,5731	0,9928	0,7436	0,0424	0,7513	0,2360	0,0510
	polynomem	2. stupně	0,2419	0,4321	0,5797	1,0000	0,7454	0,2241	0,8651	0,7248	0,1367
		3. stupně	0,4228	0,4523	0,7068		0,7793	0,9850	1,0000	0,7944	0,2693
O ₂ (t)	lineární		0,8427	0,0141	0,2066	0,0812	0,1140	0,5426	0,7389	0,6203	0,3161
	polynomem	2. stupně	0,8436	0,3829	0,2234	1,0000	0,2879	0,5710	0,9693	0,8399	0,4301
		3. stupně	0,8946	0,4759	0,2234		0,5860	0,5710	1,0000	0,8864	0,7410
N ₂ (t)	lineární		0,8050	0,7634	0,4251	0,7528	0,2186	0,6235	0,8476	0,6396	0,1015
	polynomem	2. stupně	0,9274	0,7639	0,4306	1,0000	0,2784	0,7914	0,9480	0,8693	0,2133
		3. stupně	0,9298	0,7696	0,6120		0,8799	0,8543	1,0000	0,9323	0,3867
CO ₂ (t)	lineární		0,2508	0,2347	0,0245	0,9357	0,4777	0,4480	0,7539	0,0283	0,3276
	polynomem	2. stupně	0,7014	0,5282	0,7750	1,0000	0,5445	0,9344	0,8128	0,5897	0,4029
		3. stupně	0,7019	0,5354	0,7784		0,5741	0,9949	1,0000	0,6111	0,6862
CO(t)	lineární		0,1758	0,1296	0,0656	0,1944	0,4903	0,7509	0,9158	0,0678	0,1253
	polynomem	2. stupně	0,5807	0,1530	0,5477	1,0000	0,6273	0,8039	0,9970	0,5248	0,1990
		3. stupně	0,6592	0,5085	0,6237		0,7272	0,9372	1,0000	0,5324	0,4238
Q _p (t)	lineární		0,8346	0,0316	0,1591	0,7984	0,3707	0,3847	0,8314	0,7485	0,2163
	polynomem	2. stupně	0,9093	0,4707	0,4508	1,0000	0,4494	0,4855	0,9572	0,8286	0,2778
		3. stupně	0,9175	0,6341	0,4639		0,9102	0,9713	1,0000	0,9114	0,5235

Na obr. 2.10 je grafická závislost H₂ proložena polynomem 2. stupně pro transformátor 3 a 8. V tab. 1.1 (Příloha 1) je pro tuto závislost uvedena rovnice proložené křivky. Pro transformátor 3 má rovnice tvar: $y = 0,1102x^2 - 14,12x + 469,37$, pro transformátor 8: $y = 0,9278x^2 - 18,605x + 104,29$. V tab. 2.2 je jejich koeficient korelace, pro transformátor 3 je hodnota: 0,5797, pro transformátor 8: 0,7248.

Pro všechny transformátory je rovnice křivky uvedena v tab. 1.1 (Příloha 1). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí: $y = ax^2 - bx + c$, kde a v těchto konkrétních případech nabývá hodnot <0,1102; 1,5727> b nabývá hodnot <14,12; 75,424> a c nabývá hodnot <104,29; 921,7> pro transformátory 3, 7, 8 anebo rovnicí $y = -ax^2 + bx + c$, kde a nabývá hodnot <0,0162; 1,7214>, b nabývá hodnot <1,5796; 27,933> a c nabývá hodnot

<-87,409; 15,421> pro transformátory 1, 2, 4, 5, 6, 9. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.2

Na obr. 2.11 je grafická závislost H_2 proložena polynomem 3. stupně pro transformátor 3 a 8. V tab. 1.1 (Příloha 1) je pro tuto závislost uvedena rovnice proložené křivky. Pro transformátor 3 je hodnota: $y = 0,0827x^3 - 10,054x^2 + 390,41x - 4712,1$, pro transformátor 8: $y = -0,1494x^3 + 5,1847x^2 - 55,872x + 202,2$. V tab. 2.2 je jejich koeficient korelace, pro transformátor 3 je hodnota: 0,7068, pro transformátor 8: 0,7944. Pro všechny transformátory je rovnice křivky uvedena v tab. 1.1 (Příloha 1). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí: $y = ax^3 - bx^2 + cx + d$, kde a v těchto konkrétních případech nabývá hodnot <0,0113; 0,1289>, b nabývá hodnot <0,387; 10,054>, c nabývá hodnot <3,1451; 390,41> a d nabývá hodnot <1,3578; 69,093> pro transformátory 1, 2, 3, 9 anebo rovnicí $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde a nabývá hodnot <0,0089; 7,4>, b nabývá hodnot <0,9878; 199>, c nabývá hodnot <33,61; 4623,3> a d nabývá hodnot <202,2; 35757> pro transformátory 5, 6, 7, 8. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.2.

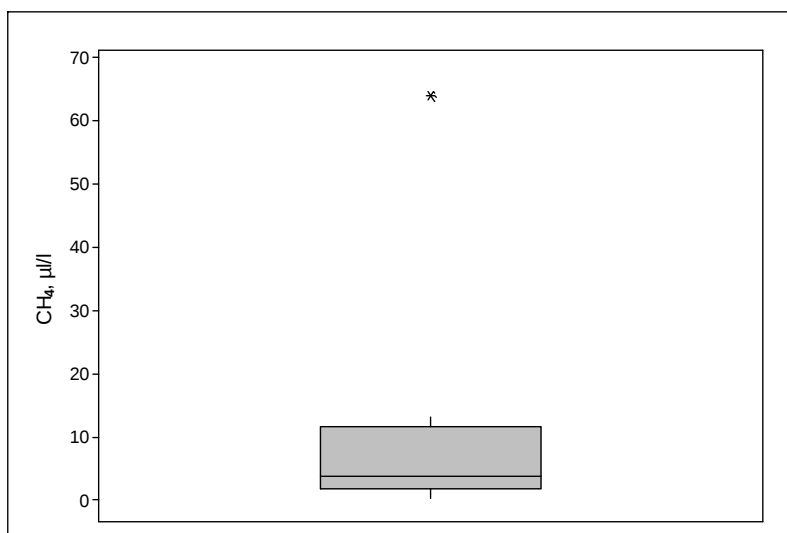
Výsledky rozboru trendu vývoje plynů jsou shrnuty v tab. 2.3. Pro hodnocení se vycházelo pouze z lineárního proložení. Pro H_2 lze obecně konstatovat, že trend vývoje plynů má ve většině případů také klesající charakter.

V dalším je pozornost soustředěna na zbývající plyny. Rovnice proložení grafů jsou uvedeny v tab. 1.1 (Příloha 1), jejich koeficienty korelace jsou v tab. 2.2 a trendy vývoje plynů jsou opět shrnuty v tab. 2.3.

Ve shodě se závěry pro CH_4 a H_2 je pro ostatní plyny také nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně, a to pro všechny sledované transformátory kromě transformátoru 4, kde stačí polynom 2. stupně. U některých plynů lze však sledovat skutečnost, že je také vhodné proložení i polynomem 2. stupně. Konkrétně se např. jedná o CO_2 , a to pro transformátory 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 nebo CO pro transformátory 4, 7, 8.

Pro ostatní plyny lze také konstatovat v případě lineárního proložení, že vývoj plynů má ve 4 případech rostoucí, v 5 případech klesající a ve 4 případech nerozhodný charakter. Rostoucí charakter mají C_2H_2 , C_3H_8 , C_2H_4 a CO , klesající CH_4 , $\sum C_xH_y$, H_2 , N_2 a CO_2 a nerozhodný charakter, tedy kdy je podobný počet transformátorů klesající a rostoucí C_2H_6 , C_2H_4 , O_2 a Q_p .

Mnoho rychlých a cenných informací poskytují o statistických souborech jejich grafická vyjádření.



Obr. 2.12 Krabicový graf CH_4 u transformátoru 3

Tab. 2.3 Výsledky rozboru trendů vývoje všech plynů pro jednotlivé transformátory

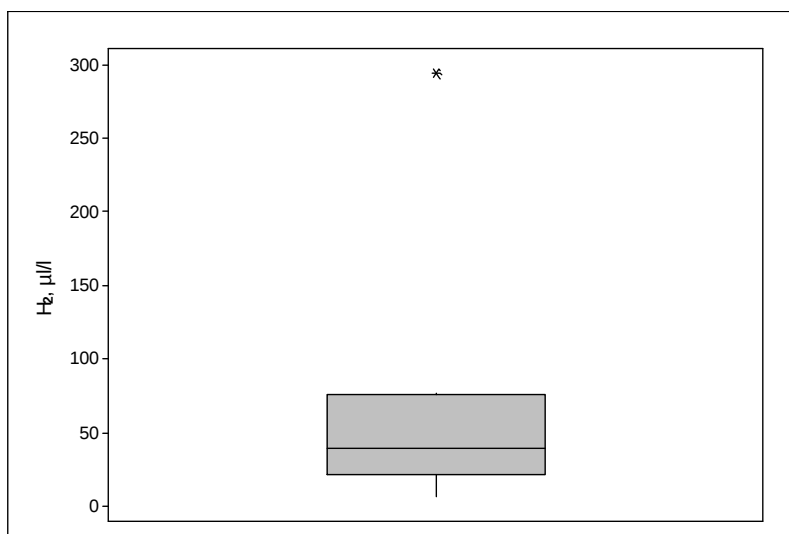
Transformátor	Trend vývoje plynů												
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C ₃ H ₈	ΣC _x H _y	C ₄ H ₁₀	H ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	CO	Q _P
1	K	K	K	K	R	K		K	K	K	K	R	K
2	K	R	K	R	R	K		K	K	K	K	K	K
3	K	K	R	R	R	K	R	K	R	K	R	R	R
4	K	K	K	R	R	K		K	R	K	K	K	K
5	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
6	R	R	R	R	R	R	K	R	K	K	R	R	K
7	K	R	R	R	R	R	R	K	K	K	K	K	K
8	K	K	K	R	K	K	R	K	K	K	K	R	R
9	K	K	R	R	R	K	R	K	R	R	K	R	R

Tab. 2.4 Výsledky rozboru trendů vývoje všech plynů pro jednotlivé transformátory pro upravené soubory

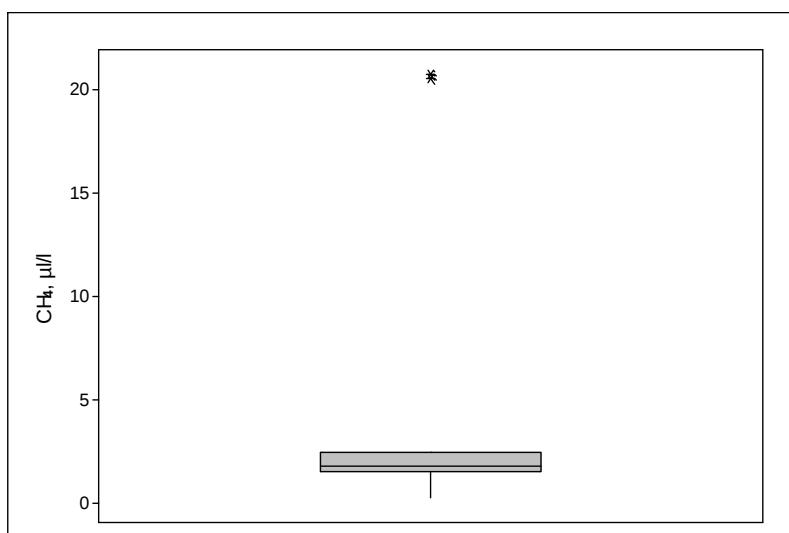
Transformátor	Trend vývoje plynů												
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C ₃ H ₈	ΣC _x H _y	C ₄ H ₁₀	H ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	CO	Q _P
1	R	K	K	R	R	K		R	K	K	K	R	K
2	K	R	K	R	R	K		K	K	K	K	K	K
3	R	K	R	R	R	K	R	K	R	K	K	R	R
4	K	K	K	R	R	K		K	R	K	K	K	K
5	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
6	R	R	R	R	R	R	K	R	K	K	R	R	K
7	K	R	R	R	R	R	R	K	K	K	K	K	K
8	K	K	K	R	K	K	R	R	R	R	K	R	R
9	K	K	R	R	R	K	R	K	R	R	K	R	R

Pro jednorozměrný neroztříděný resp. uspořádaný statistický soubor se zejména užívá krabicový graf, který je např. na obr. 2.12, obr. 2.13, obr. 2.14 a obr. 2.15, kde vyznačený obdélník obsahuje střední část uspořádaného souboru (cca polovinu všech jeho hodnot) tak, že nahoře a dole od obdélníku leží vždy cca čtvrtina hodnot uspořádaného souboru. Dolní vodorovná strana obdélníku odpovídá tzv. dolnímu (Q1) kvartilu statistického souboru, horní odpovídá tzv. hornímu (Q3) kvartilu statistického souboru. Vodorovná čára uvnitř obdélníku je v místě mediánu. Šířka obdélníku je úměrná rozsahu souboru a úsečky dole a nahoře vyjadřují přijatelné obory pro zbývající dolní a horní čtvrtinu souboru. Hodnoty mimo tyto úsečky jsou považovány za podezřelé, případně extrémně odchýlené [9].

V textu a především v tab. 1.5 (Příloha 1) se vyskytuje ještě IQR_{Range}, je to oblast mezi dolním a horním kvantilem a označuje se jako interkvartilový interval. Dále pak rozsah statistického souboru (N).

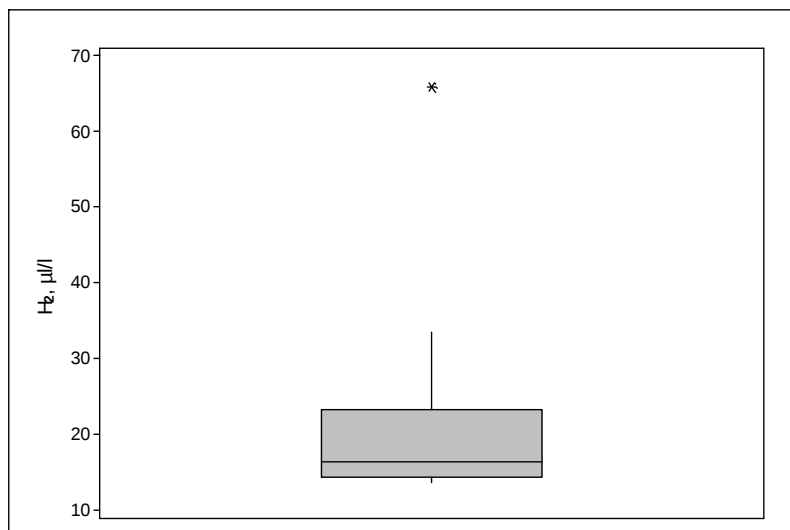


Obr. 2.13 Krabicový graf H₂ u transformátoru 3

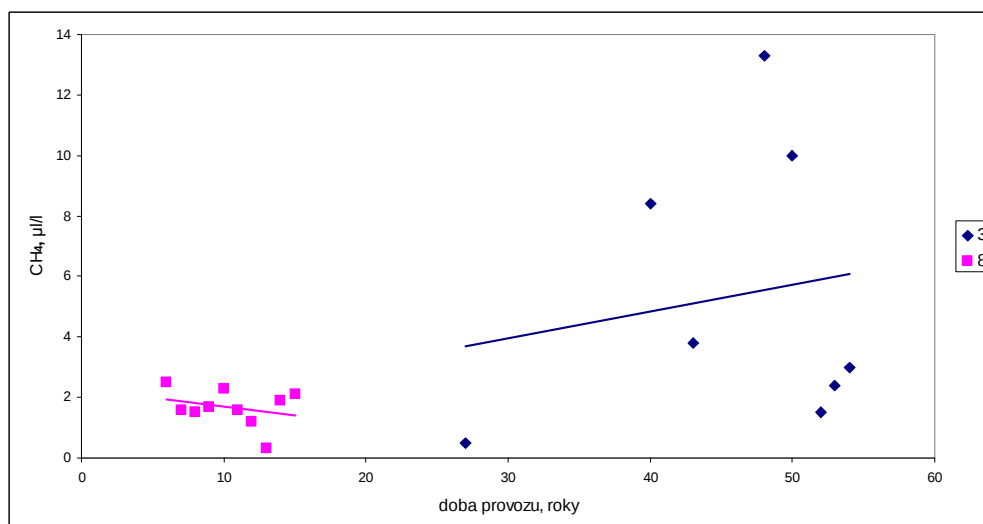


Obr. 2.14 Krabicový graf CH₄ u transformátoru 8

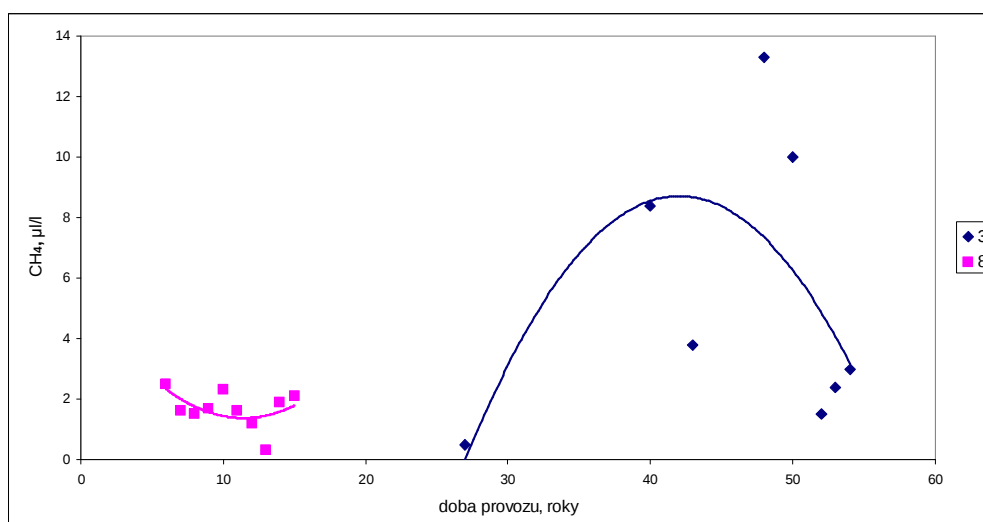
Po odstranění extrémních hodnot ze všech sledovaných souborů výše naznačeným způsobem vzniknou **soubory upravené**. Tyto jsou analyzovány dále a příklady časových závislostí jsou na obr. 2.16, obr. 2.17, obr. 2.18, obr. 2.19, obr. 2.20 a obr. 2.21.



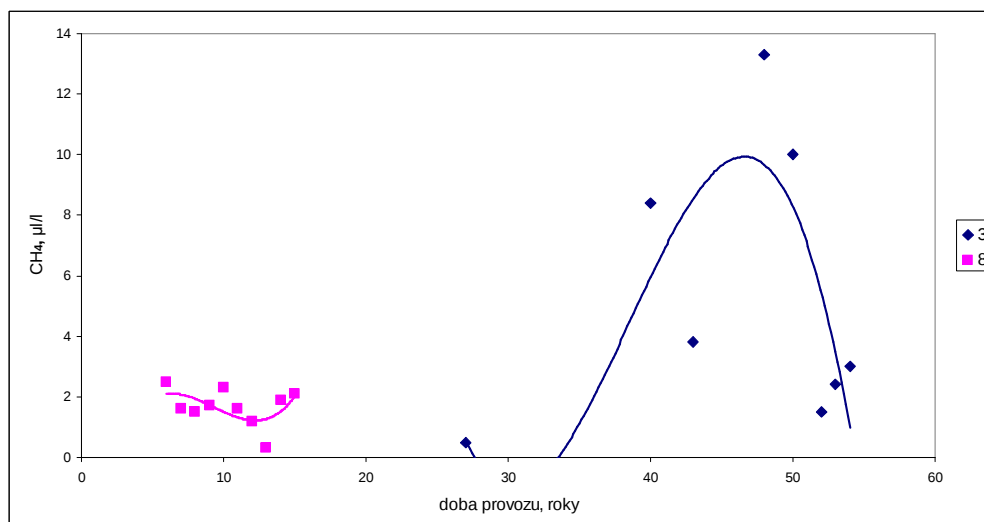
Obr. 2.15 Krabicový graf H_2 u transformátoru 8



Obr. 2.16 Lineární proložení grafu časové závislosti CH_4 u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory



Obr. 2.17 Graf proložení polynomem 2. stupně časové závislosti CH_4 u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory



Obr. 2.18 Graf proložení polynomem 3. stupně časové závislosti CH₄ u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

Na obr. 2.16 je grafická závislost CH₄ proložena lineárně pro transformátor 3 a 8. V tab. 1.2 (Příloha 1) je pro tuto lineární závislost uvedena rovnice proložené přímky. Pro transformátor 3 má rovnice tvar: $y = 0,0878x + 1,3356$, pro transformátor 8: $y = -0,0588x + 2,2873$. V tab. 2.5 je jejich koeficient korelace, pro transformátor 3 je hodnota: 0,1723, pro transformátor 8: 0,2871.

Pro všechny transformátory je rovnice přímky uvedena v tab. 1.2 (Příloha 1). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí: $y = -ax + b$, kde a v těchto konkrétních případech nabývá hodnot $\langle 0,0588; 0,2748 \rangle$ a b nabývá hodnot $\langle 2,2873; 16,276 \rangle$ pro transformátory 2, 4, 7, 8, 9 anebo rovnicí $y = ax - b$, kde a nabývá hodnot $\langle 0,0878; 1,01 \rangle$ a b nabývá hodnot $\langle -1,3356; 4 \rangle$ pro transformátory 1, 3, 5, 6. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.5.

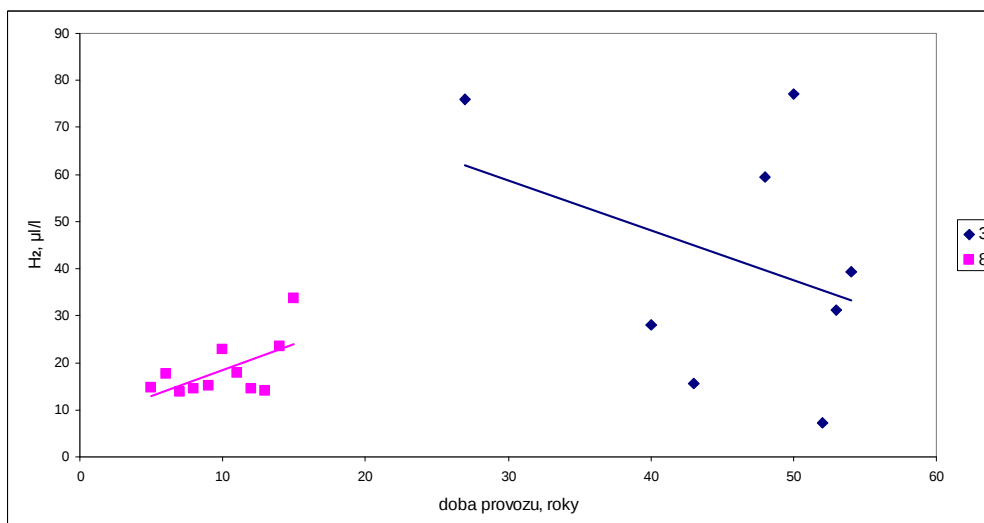
Na obr. 2.17 je grafická závislost CH₄ proložena polynomem 2. stupně pro transformátor 3 a 8. V tab. 1.2 (Příloha 1) je pro tuto závislost uvedena rovnice proložené křivky. Pro transformátor 3 má rovnice tvar: $y = -0,0386x^2 + 3,244x - 59,446$, pro transformátor 8: $y = 0,0322x^2 - 0,7349x + 5,5714$. V tab. 2.5 je jejich koeficient korelace, pro transformátor 3 je hodnota: 0,6412, pro transformátor 8: 0,4904.

Pro všechny transformátory je rovnice křivky uvedena v tab. 1.2 (Příloha 1). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí: $y = ax^2 - bx + c$, kde a v těchto konkrétních případech nabývá hodnot $\langle 0,0112; 0,5643 \rangle$ b nabývá hodnot $\langle 0,3013; 8,0186 \rangle$ a c nabývá hodnot $\langle 3,0058; 30,986 \rangle$ pro transformátory 2, 6, 8, 9 anebo rovnicí $y = -ax^2 + bx - c$, kde a nabývá hodnot $\langle 0,0076; 0,3341 \rangle$, b nabývá hodnot $\langle 0,7786; 14,92 \rangle$ a c nabývá hodnot $\langle 6,1945; 182,61 \rangle$ pro transformátory 1, 3, 4, 5, 7. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.5.

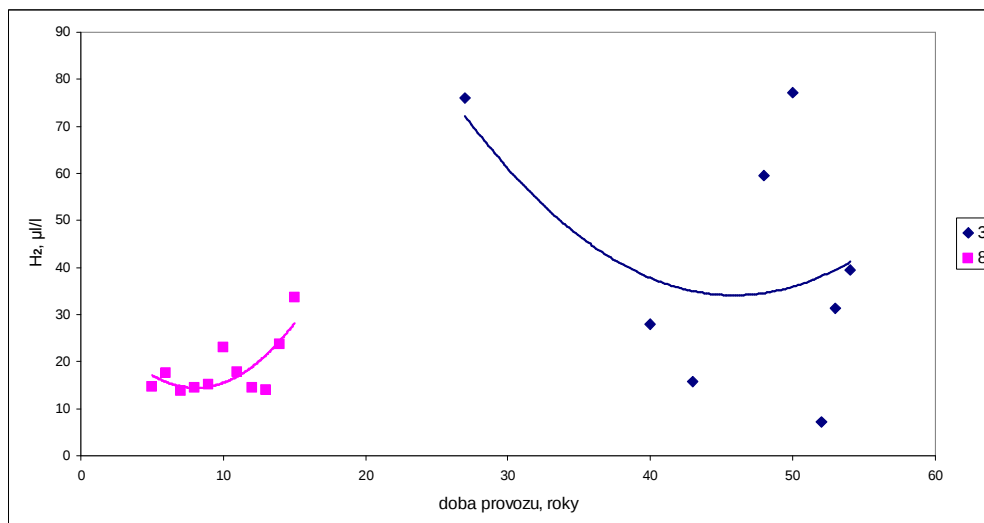
Na obr. 2.18 je grafická závislost CH₄ proložena polynomem 3. stupně pro transformátor 3 a 8. V tab. 1.2 (Příloha 1) je pro tuto závislost uvedena rovnice proložené křivky. Pro transformátor 3 je hodnota: $y = -0,0052x^3 + 0,595x^2 - 21,895x + 259,24$, pro transformátor 8: $y = 0,0087x^3 - 0,2425x^2 + 2,022x - 3,1836$. V tab. 2.5 je jejich koeficient korelace, pro transformátor 3 je hodnota: 0,7485, pro transformátor 8: 0,5553.

Pro všechny transformátory je rovnice křivky uvedena v tab. 1.2 (Příloha 1). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí: $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde a v těchto konkrétních případech nabývá hodnot $\langle 0,005; 0,5625 \rangle$, b nabývá hodnot $\langle 0,1087; 39,3 \rangle$, c nabývá hodnot $\langle 0,4224; 912,54 \rangle$ a d nabývá hodnot $\langle -2,2646; 7038,1 \rangle$ pro transformátory 2, 7, 8 anebo

rovnici $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde a nabývá hodnot $\langle 0,001; 0,5167 \rangle$, b nabývá hodnot $\langle 0,107; 12,96 \rangle$, c nabývá hodnot $\langle 2,013; 105,46 \rangle$ a d nabývá hodnot $\langle 14,712; 281,47 \rangle$ pro transformátory 1, 3, 5, 6, 9. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.5.



Obr. 2.19 Lineární proložení grafu časové závislosti H₂ u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory



Obr. 2.20 Graf proložení polynomem 2. stupně časové závislosti H₂ u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

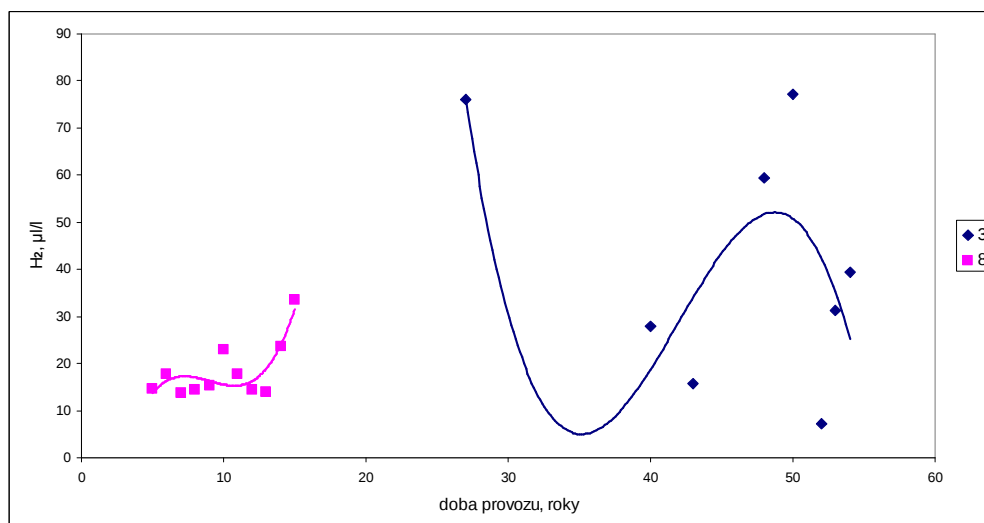
Z uvedených výsledků je patrné, že pro tento plyn je nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně.

Výsledky rozboru trendu vývoje plynů jsou shrnuty v tab. 2.4. Pro hodnocení se vycházelo pouze z lineárního proložení. Pro CH₄ lze konstatovat, že trend vývoje plynů má v pěti případech klesající charakter a ve čtyřech případech charakter rostoucí.

Na obr. 2.19 je grafická závislost H₂ proložena lineárně pro transformátor 3 a 8. V tab. 1.2 (Příloha 1) je pro tuto lineární závislost uvedena rovnice proložené přímky. Pro transformátor 3 má rovnice tvar: $y = -1,0646x + 90,626$, pro transformátor 8: $y = 1,1073x + 7,3$. V tab. 2.5 je jejich koeficient korelace, pro transformátor 3 je hodnota: 0,3639, pro transformátor 8: 0,5991.

Pro všechny transformátory je rovnice přímky uvedena v tab. 1.2 (Příloha 1). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí: $y = -ax + b$, kde a v těchto konkrétních případech nabývá

hodnot $\langle 0,251; 3,3029 \rangle$ a b nabývá hodnot $\langle 7,3454; 98,491 \rangle$ pro transformátory 2, 3, 4, 7, 9 anebo rovnicí $y = ax + b$, kde a nabývá hodnot $\langle 0,3639; 1,5532 \rangle$ a b nabývá hodnot $\langle -33,936; 19,32 \rangle$ pro transformátory 1, 5, 6, 8. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.5.



Obr. 2.21 Graf proložení polynomem 3. stupně časové závislosti H_2 u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

Na obr. 2.20 je grafická závislost H_2 proložena polynomem 2. stupně pro transformátor 3 a 8. V tab. 1.2 (Příloha 1) je pro tuto závislost uvedena rovnice proložené křivky. Pro transformátor 3 má rovnice tvar: $y = 0,1069x^2 - 9,8044x + 258,92$, pro transformátor 8: $y = 0,2858x^2 - 4,6083x + 33,02$. V tab. 2.5 je jejich koeficient korelace, pro transformátor 3 je hodnota: 0,4701, pro transformátor 8: 0,7385.

Pro všechny transformátory je rovnice křivky uvedena v tab. 1.2 (Příloha 1). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí: $y = ax^2 - bx + c$, kde a v těchto konkrétních případech nabývá hodnot $\langle 0,2858; 1,5727 \rangle$, b nabývá hodnot $\langle 4,6083; 75,424 \rangle$ a c nabývá hodnot $\langle 33,02; 921,7 \rangle$ pro transformátory 3, 7, 8 anebo rovnicí $y = -ax^2 + bx + c$, kde a nabývá hodnot $\langle 0,0162; 1,7214 \rangle$, b nabývá hodnot $\langle 1,5721; 27,933 \rangle$ a c nabývá hodnot $\langle -87,409; 15,421 \rangle$ pro transformátory 1, 2, 4, 5, 6, 9. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.5.

Na obr. 2.21 je grafická závislost H_2 proložena polynomem 3. stupně pro transformátor 3 a 8. V tab. 1.2 (Příloha 1) je pro tuto závislost uvedena rovnice proložené křivky. Pro transformátor 3 je hodnota: $y = -0,0377x^3 + 4,7371x^2 - 193,43x + 2586,8$, pro transformátor 8: $y = 0,0945x^3 - 2,5481x^2 + 22,049x - 44,629$. V tab. 2.5 je jejich koeficient korelace, pro transformátor 3 je hodnota: 0,6799, pro transformátor 8: 0,8319.

Pro všechny transformátory je rovnice křivky uvedena v tab. 1.2 (Příloha 1). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí: $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde a v těchto konkrétních případech nabývá hodnot $\langle 0,0113; 0,1289 \rangle$, b nabývá hodnot $\langle 0,387; 3,8823 \rangle$, c nabývá hodnot $\langle 3,1451; 35,86 \rangle$ a d nabývá hodnot $\langle -1,3578; 69,093 \rangle$ pro transformátory 2, 8, 9 anebo rovnicí $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde a nabývá hodnot $\langle 0,0011; 7,4 \rangle$, b nabývá hodnot $\langle -0,0481; 199 \rangle$, c nabývá hodnot $\langle -1,415; 4623,3 \rangle$ a d nabývá hodnot $\langle -1,0019; 35757 \rangle$ pro transformátory 1, 3, 5, 6, 7. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.5.

Výsledky rozboru trendu vývoje plynů jsou shrnuty v tab. 2.4. Pro hodnocení se vycházelo pouze z lineárního proložení. Pro H_2 lze obecně konstatovat, že trend vývoje plynů má ve čtyřech případech rostoucí a v pěti klesající charakter.

Tab. 2.5 Koeficient korelace proložení časové závislosti plynů u jednotlivých transformátorů pro upravené soubory

Plyn	Koeficient korelace proložení		Transformátor								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
$CH_4(t)$	lineární		0,3362	0,3625	0,1723	0,5428	0,6608	0,7424	0,5603	0,2871	0,2966
	polynomem	2. stupně	0,4056	0,3974	0,6412	1,0000	0,6830	0,8899	0,7928	0,4904	0,3986
		3. stupně	0,6937	0,4943	0,7485		0,8396	0,9998	1,0000	0,5553	0,3987
$C_2H_6(t)$	lineární		0,5417	0,0063	0,1507	0,3292	0,5297	0,1072	0,2670	0,4459	0,0866
	polynomem	2. stupně	0,8195	0,2775	0,5908	1,0000	0,5342	0,6442	0,9000	0,4772	0,1058
		3. stupně	0,9658	0,2915	0,6013		0,7690	0,9898	1,0000	0,6023	0,1345
$C_2H_4(t)$	lineární		0,1822	0,1825	0,1285	0,4503	0,7889	0,3274	0,8244	0,5168	0,0057
	polynomem	2. stupně	0,6022	0,6794	0,6407	1,0000	0,8366	0,5426	0,9309	0,6061	0,1378
		3. stupně	0,6046	0,7196	0,6565		0,8375	0,9995	1,0000	0,7017	0,2755
$C_2H_2(t)$	lineární		0,6124	0,3680	0,6235	0,7736	0,6837	0,1939	0,7691	0,0316	0,0700
	polynomem	2. stupně	0,6749	0,5107	0,6430	1,0000	0,6927	0,7031	0,7701	0,7337	0,4578
		3. stupně	0,6867	0,7226	0,7720		0,7382	0,9855	1,0000	0,7338	0,4581
$C_3H_8(t)$	lineární		0,2890	0,0412	0,5967	0,0787	0,4738	0,3154	0,8767	0,0300	0,6406
	polynomem	2. stupně	0,4206	0,5515	0,6948	1,0000	0,8102	0,4909	0,9046	0,2848	0,6956
		3. stupně	1,0000		0,7820		0,8218	0,9145	1,0000	0,6780	0,6996
$C_4H_{10}(t)$	lineární				0,0975		0,6427	0,1039	0,3801	0,2243	0,5766
	polynomem	2. stupně			0,4005		0,6969	0,8782	0,4332	0,6204	0,6164
		3. stupně			0,6204		0,7180	0,9773	1,0000	0,6857	0,6265
$\sum C_xH_y(t)$	lineární		0,0954	0,1273	0,2464	0,2214	0,5584	0,4217	0,2435	0,2771	0,0825
	polynomem	2. stupně	0,5263	0,4397	0,4584	1,0000	0,5759	0,5609	0,9802	0,5643	0,1330
		3. stupně	0,6947	0,4422	0,5476		0,7119	0,9963	1,0000	0,6194	0,1977
$H_2(t)$	lineární		0,3632	0,1637	0,3639	0,9928	0,7436	0,0424	0,7513	0,5991	0,0510
	polynomem	2. stupně	0,5192	0,4321	0,4701	1,0000	0,7454	0,2241	0,8651	0,7385	0,1367
		3. stupně	0,5197	0,4523	0,6799		0,7793	0,9850	1,0000	0,8319	0,2693
$O_2(t)$	lineární		0,8427	0,0141	0,2066	0,0812	0,0374	0,5426	0,7389	0,6733	0,3161
	polynomem	2. stupně	0,8436	0,3829	0,2234	1,0000	0,4828	0,5710	0,9693	0,7930	0,4301
		3. stupně	0,8946	0,4759	0,2234		0,9095	0,5710	1,0000	0,8164	0,7410
$N_2(t)$	lineární		0,8050	0,7634	0,4251	0,7528	0,2186	0,6235	0,8476	0,6105	0,2191
	polynomem	2. stupně	0,9274	0,7639	0,4306	1,0000	0,2784	0,7914	0,9480	0,8022	0,2548
		3. stupně	0,9298	0,7696	0,6120		0,8799	0,8543	1,0000	0,8181	0,4638
$CO_2(t)$	lineární		0,2508	0,2347	0,0245	0,9357	0,4777	0,4480	0,7539	0,0283	0,3276
	polynomem	2. stupně	0,7014	0,5282	0,7750	1,0000	0,5445	0,9344	0,8128	0,5897	0,4029
		3. stupně	0,7019	0,5354	0,7784		0,5741	0,9949	1,0000	0,6111	0,6862
$CO(t)$	lineární		0,1758	0,1296	0,0656	0,1944	0,4903	0,7509	0,9158	0,0678	0,2997
	polynomem	2. stupně	0,5807	0,1530	0,5477	1,0000	0,6273	0,8039	0,9970	0,5248	0,3912
		3. stupně	0,6592	0,5085	0,6237		0,7272	0,9372	1,0000	0,5324	0,6553
$Q_P(t)$	lineární		0,8346	0,6974	0,1591	0,7984	0,3707	0,3847	0,8314	0,7485	0,2163
	polynomem	2. stupně	0,9093	0,7031	0,4508	1,0000	0,4494	0,4855	0,9572	0,8286	0,2778
		3. stupně	0,9175	0,7053	0,4639		0,9102	0,9713	1,0000	0,9114	0,5235

V dalším je pozornost soustředěna na zbývající plyny. Rovnice proložení grafů jsou uvedeny v tab. 1.2 (Příloha 1), jejich koeficienty korelace jsou v tab. 2.5 a trendy vývoje plynů jsou opět shrnuty v tab. 2.4.

Ve shodě se závěry pro CH_4 a H_2 je pro ostatní plyny také nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně, a to pro všechny sledované transformátory, kromě transformátoru 4, kde stačí proložení polynomem 2. stupně. U některých plynů lze však sledovat skutečnost,

že je také vhodné proložení i polynomem 2. stupně. Konkrétně se např. jedná o Q_p , a to pro transformátory 1, 2, 4, 7.

Pro ostatní plyny lze konstatovat v případě lineárního proložení, že vývoj plynů má v čtyřech případech rostoucí charakter, ve třech klesající a v šesti je polovina případů klesající a zbývající polovina rostoucí.

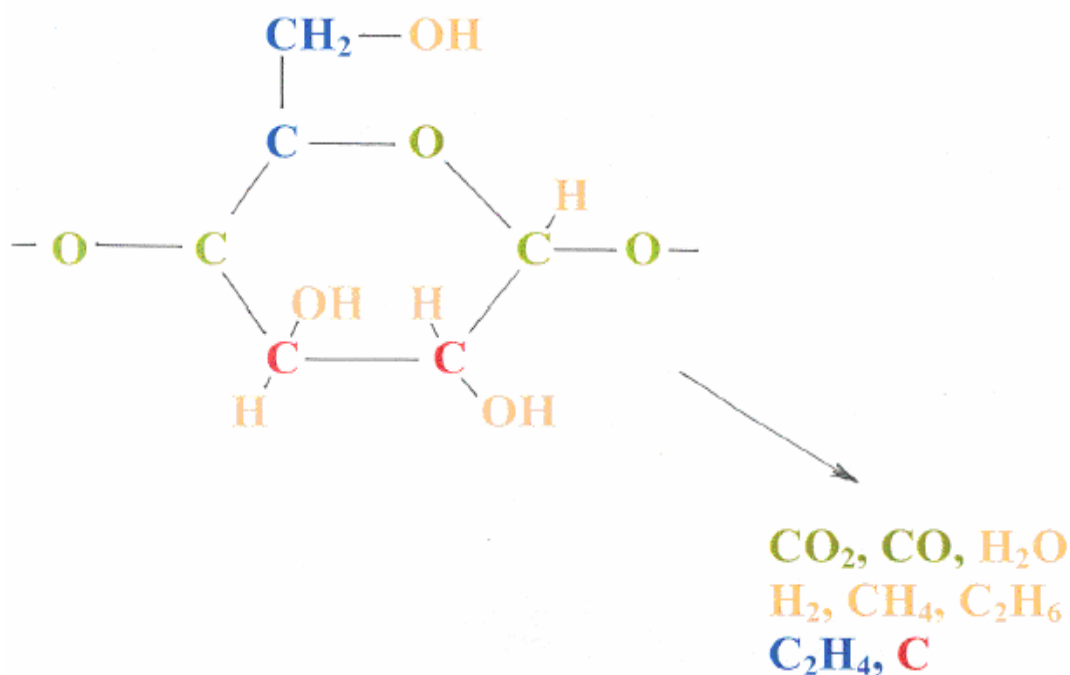
Nakonec této podkapitoly je **provedeno srovnání výsledků** a závěrů pro soubory naměřených dat a soubory dat bez extrémních hodnot.

Obecně lze konstatovat, že vyřazení extrémních hodnot má vliv na hodnocení výsledků. Úpravou souborů vyřazením extrémních hodnot nemá vliv na skutečnost, že nejvhodnější proložení průběhů hodnot je polynomem 3. stupně. Ovlivněny však byly rovnice proložení grafů a jejich koeficienty korelace, podrobnosti ukazuje tab. 1.1 (Příloha 1), tab. 1.2 (Příloha 1), tab. 2.2 a tab. 2.5. Po vyřazení extrémních hodnot se zmenšila ve 14 případech a zvětšila v 11 případech hodnota koeficientů korelace. Toto se zvláště projevilo u transformátorů 1 a 8, kde bylo nejvíce extrémních hodnot. Rovněž výsledky rozboru trendů plynů byly ovlivněny. Obecně se průběh změnil u pěti plynů, opět se toto projevilo hlavně u transformátoru 1 a 8 (tři případy). Podrobnosti lze sledovat v tab. 2.4.

Získané výsledky jsou však logické, protože rozsahy sledovaných souborů jsou malé a každá změna může soubor ovlivnit.

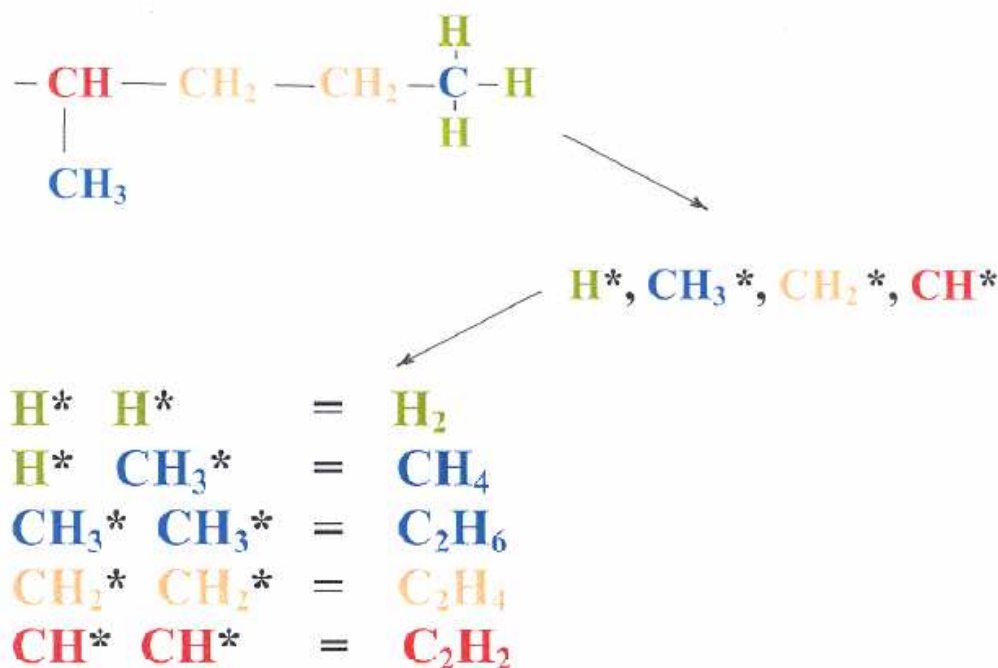
V následující textu jsou rozebrány některé výsledky i z **hlediska chemických dějů**. Vychází se konkrétně z časové závislosti lineárního proložení rovnic pro analyzované plyny.

Plyny vznikají obecně rozkladem oleje a papírové izolace. Konkrétně mohou také být produktem oxidace oleje a celulózy nebo např. výsledkem hydrolýzy. Příčinou rozkladu bývají také elektrické (např. částečné výboje) a tepelné poruchy. Vznik plynů při chemických reakcích je znázorněn na obr. 2.24. Je zde patrné, že některé plyny spolu s teplotou spouští určité chemické reakce. Konkrétně např. O_2 spolu s teplotou působí na oxidaci oleje, při které vznikají CO a CO_2 . Tyto plyny zase působí na kyseliny. Dále působí na oxidaci celulózy, kde vzniká voda, která ovlivňuje hydrolýzu.



Obr. 2.22 Molekula celulózy a plyny vzniklé při jejím rozkladu [40]

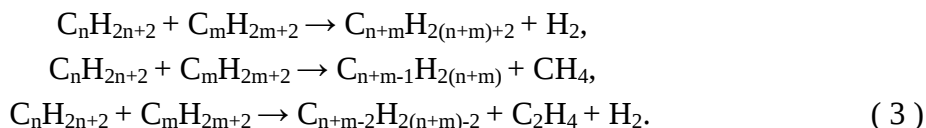
Na obr. 2.22 a obr. 2.23 je znázorněn **možný rozklad molekuly celulózy a oleje s plyny**, které vznikají při jejich rozkladu.



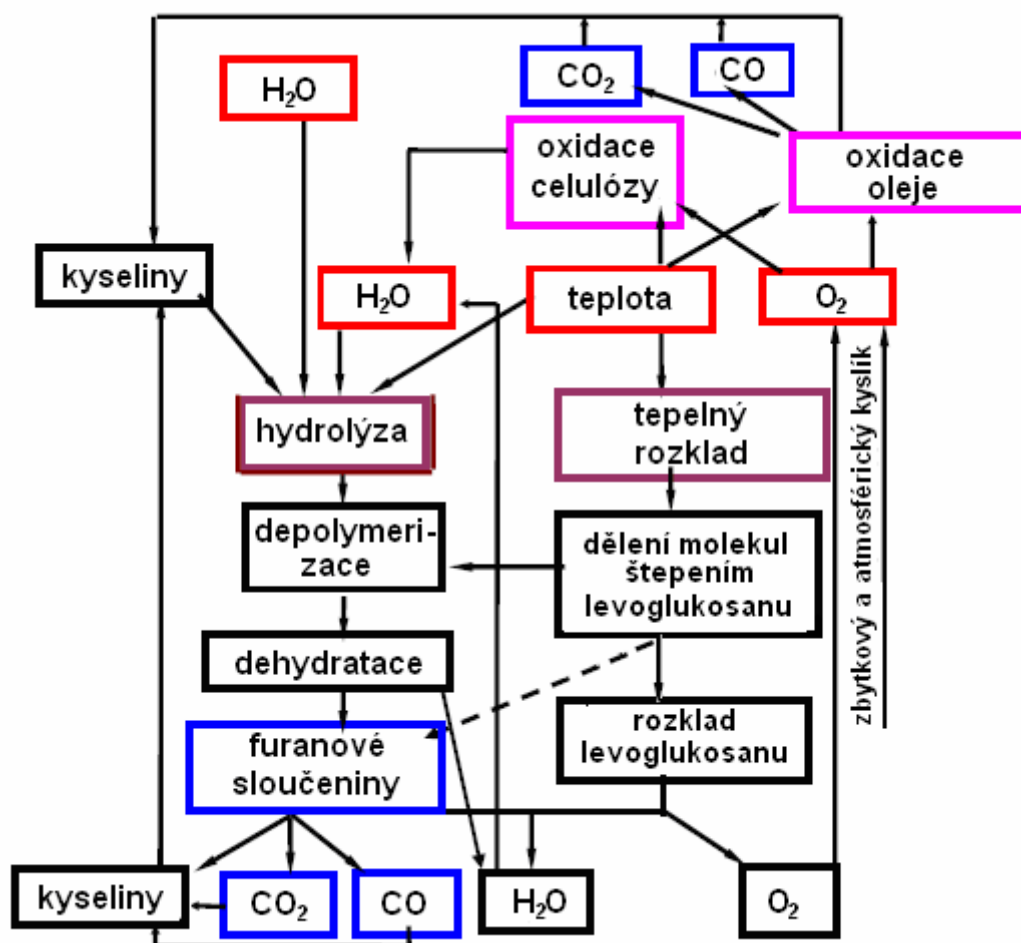
Obr. 2.23 Molekula oleje a plyny vzniklé při jeho rozkladu [40]

Oxidace vzniká vlivem O₂ s olejem (uhlovodíky). O₂ se zabudovává do molekule oleje a mění tím jeho vlastnosti. Oxidaci urychluje teplota a voda. Působením oxidačního stárnutí vzniká množstvím kyslíkatých organických látek jako jsou aldehydy, alkoholy, estery, ketony, kyseliny, aj., které jsou rozpustné v oleji. Jako vedlejší produkty vznikají CO₂ a reakční voda. Při vzniku většího množství oxidačních produktů mohou spolu navzájem reagovat a tím zvyšovat viskozitu oleje.

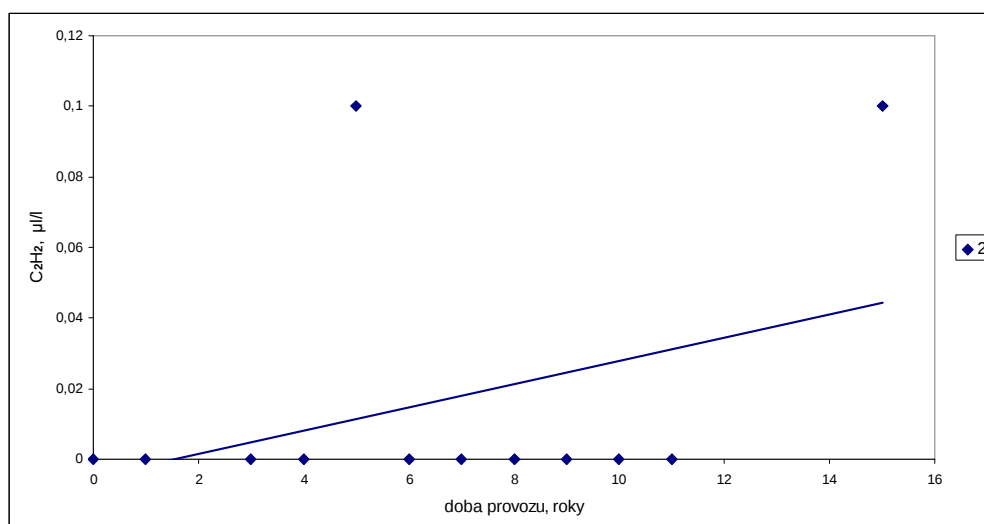
Polymerací a polykondenzací primárních kyslíkatých produktů stárnutí vznikají makromolekulární látky. Ty jsou v první fázi rozpustné v oleji. Zvětšují viskozitu a hustotu izolačního oleje a elektrické vlastnosti oleje. Pokračující polymerací a polykondenzací vznikají nerozpustné kyslíkaté makromolekuly, tzv. **kaly**. Kaly vedou většinou k nevratným poškozením izolačního systému. Negativní vliv kalů se projevuje také při oxidačním stárnutí oleje a jeho hydrofilními vlastnostmi. Polykondenzací jako vedlejší produkt vzniká reakční voda. Na rychlost polykondenzace má vliv tlak, teplota, koncentrace roztoku, doba ... Polykondenzace nasycených uhlovodíků probíhá takto:



Na kaly se vážou polární uhlovodíky, zoxidované uhlovodíky ve formě asfaltérů, asfaltogenních kyselin a mýdla vyšších mastných kyselin. Asfaltéry vznikají oxidací aromatických a aromaticko-cyklanických uhlovodíků. S aromatickým podílem snadno vážou vodu. Mastné kyseliny a jiné kyslíkaté látky vznikají oxidací uhlovodíků. Místa, která pokrývají kaly se více ohřívají, značně se zhoršuje schopnost odvádět teplo z povrchu vinutí, a tím dochází k dalším polymeračním reakcím.



Obr. 2.24 Model vlivu degradačních faktorů na plyny odkaz [35]



Obr. 2.25 Lineární proložení grafu závislosti C_2H_2 u transformátoru 2 pro upravené soubory

C_2H_2

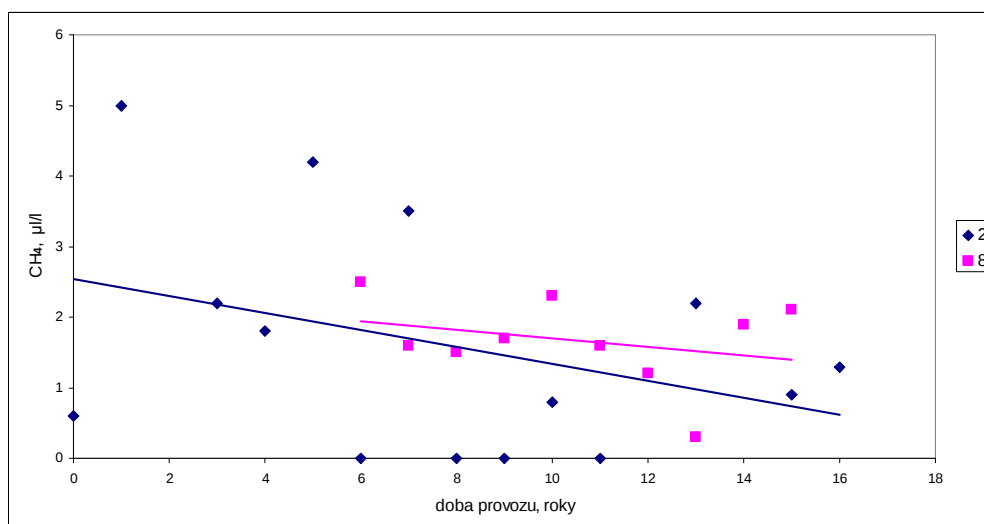
Tento plyn má u všech analyzovaných transformátorů stejný průběh v závislosti na čase. Jejich průběh je rostoucí. U transformátoru 2 je rostoucí průběh pravděpodobně podpořen ještě chemickou reakcí popsanou rovnicí 4. Rovnice popisuje vznik C_2H_2 pomocí

CH_4 a O_2 . Pravdivost toho, že reakce proběhla u transformátoru 2 potvrzuje fakt, že lineární proložení CH_4 a O_2 klesá a C_2H_2 roste, což ukazují obr. 2.25, obr. 2.26 a obr. 2.27.

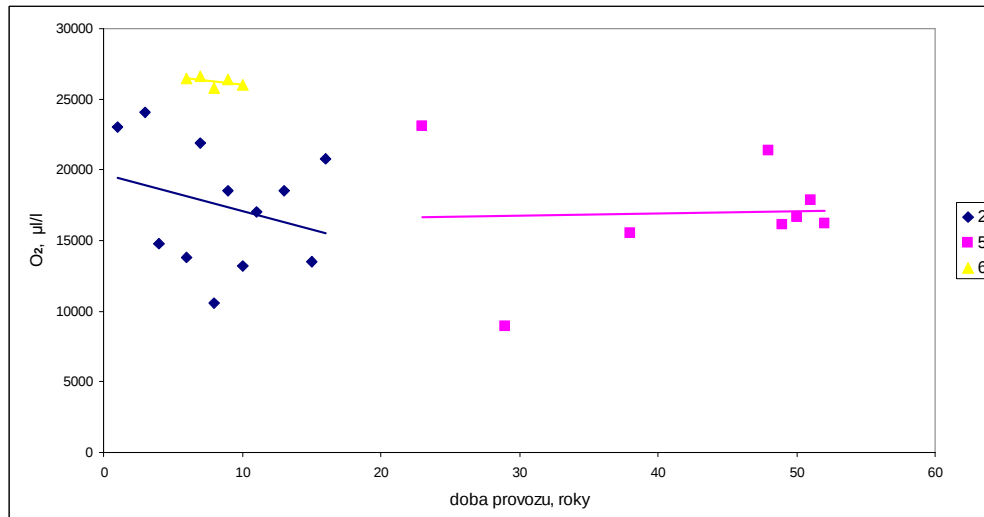


C_3H_8

Průběh časové závislosti plynu C_3H_8 má ve většině případů rostoucí charakter. Výjimkou je transformátor 8 na obr. 2.28, který má mírně klesající charakter.



Obr. 2.26 Lineární proložení grafu závislosti CH_4 u transformátorů 2 a 8 pro upravené soubory

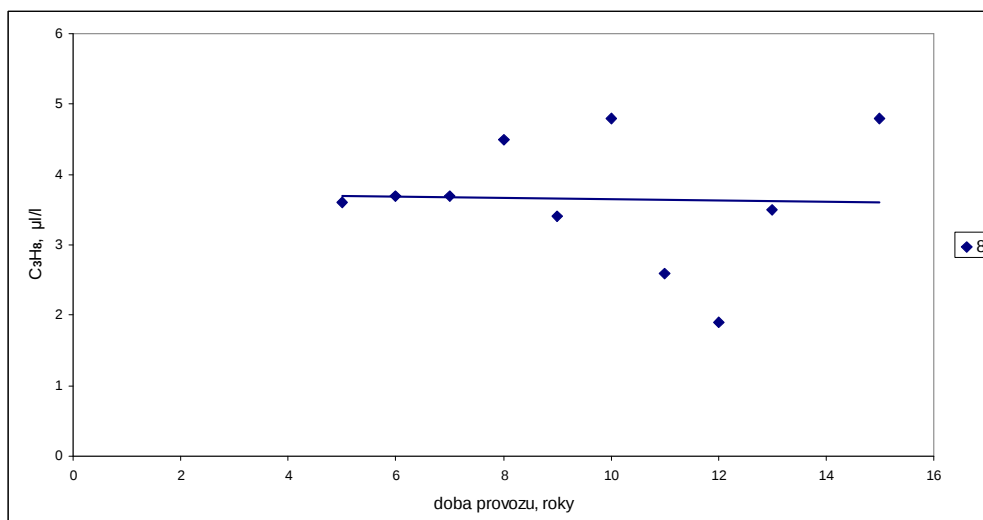


Obr. 2.27 Lineární proložení grafu závislosti O_2 u transformátorů 2, 5 a 6 pro upravené soubory

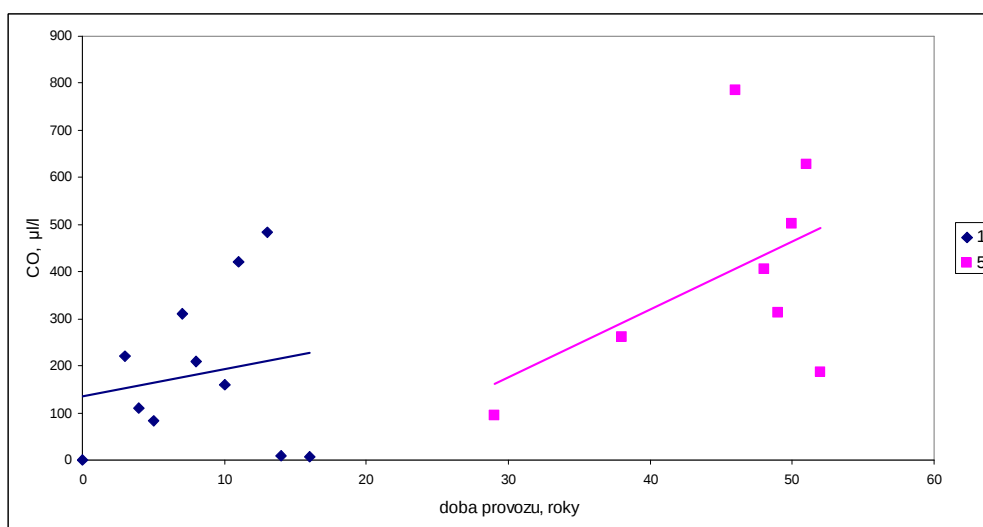
H_2

Lineární proložení časové závislosti H_2 má ve čtyřech případech rostoucí a v pěti případech klesající charakter. U transformátoru 1 lze z výsledků ostatních plynů usuzovat, že zde došlo k chemické reakci znázorněné v rovnici 5. Jedná se o nárůst H_2 a CO v důsledku reakce vody (H_2O) s uhlíkem (C). Dle vývoje lze konstatovat, že Q_v (H_2O) na obr. 2.30 má klesající charakter a CO (obr. 2.29) a H_2 (obr. 2.31) mají charakter rostoucí.





Obr. 2.28 Lineární proložení grafu závislosti C₃H₈ u transformátoru 8 pro upravené soubory



Obr. 2.29 Lineární proložení grafu závislosti CO u transformátorů 1 a 5 pro upravené soubory

U transformátoru 5 lze říci, že mohlo dojít k reakci popsané rovnicí 6. Vyplývá z ní, že voda se může štěpit na H₂ a O₂. Podle vývoje Q_v (obr. 2.30), který má charakter klesající a H₂ (obr. 2.31) a O₂ (obr. 2.27), které jsou stoupajícího charakteru, lze konstatovat, že zde tato chemická reakce nastala.



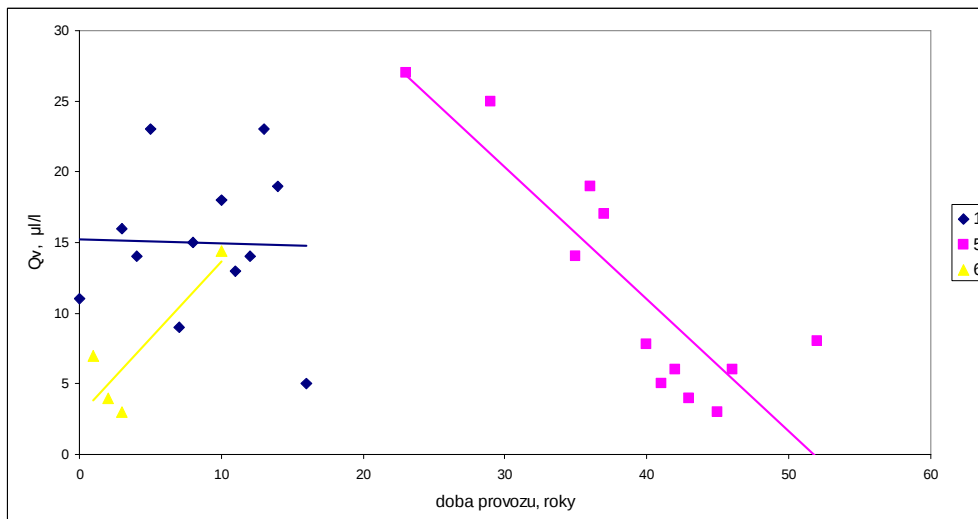
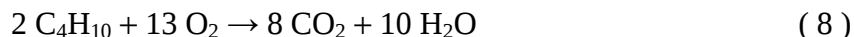
U transformátoru 8 může docházet k reakci popsané v rovnici 7. Jedná se o rozložení CH₄ na uhlík a H₂. Usuzovat to lze z toho, že lineární proložení časové závislosti CH₄ (obr. 2.26) má klesající a H₂ (obr. 2.31) rostoucí charakter.



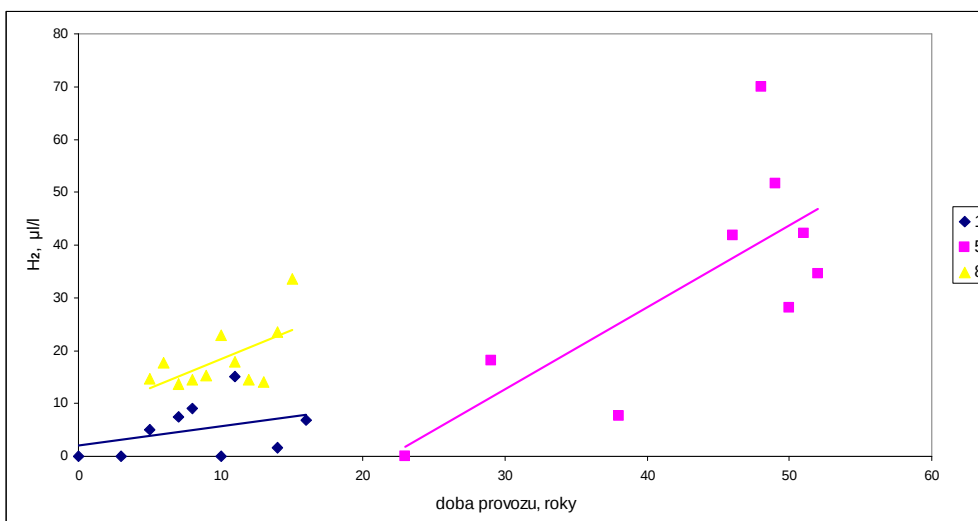
C₄H₁₀

U tohoto plynu má časový průběh lineárního proložení v pěti případech rostoucí a v jednom klesající charakter. Klesající charakter má transformátor 6, u kterého lze toto vysvětlit pomocí rovnice 8. Rovnice reakci C₄H₁₀ a O₂ při níž vznikne CO₂ a voda.

Z grafického vyjádření ostatních plynů získaných na tomto transformátoru se ukazuje, že C_4H_{10} (obr. 2.32) a O_2 (obr. 2.27) klesají a naopak CO_2 (obr. 2.33) a Q_v (obr. 2.30) rostou, což podporuje teorii popsanou rovnicí 8.



Obr. 2.30 Lineární proložení grafu závislosti Q_v u transformátorů 1, 5 a 6 pro upravené soubory



Obr. 2.31 Lineární proložení grafu závislosti H_2 u transformátorů 1, 5 a 8 pro upravené soubory

CO_2

Časová závislost průběhu CO_2 má v sedmi případech klesající a ve dvou rostoucí charakter. U transformátoru 5 roste nejen CO_2 (obr. 2.33), ale i CO (obr. 2.29), což ukazuje na oxidaci oleje.

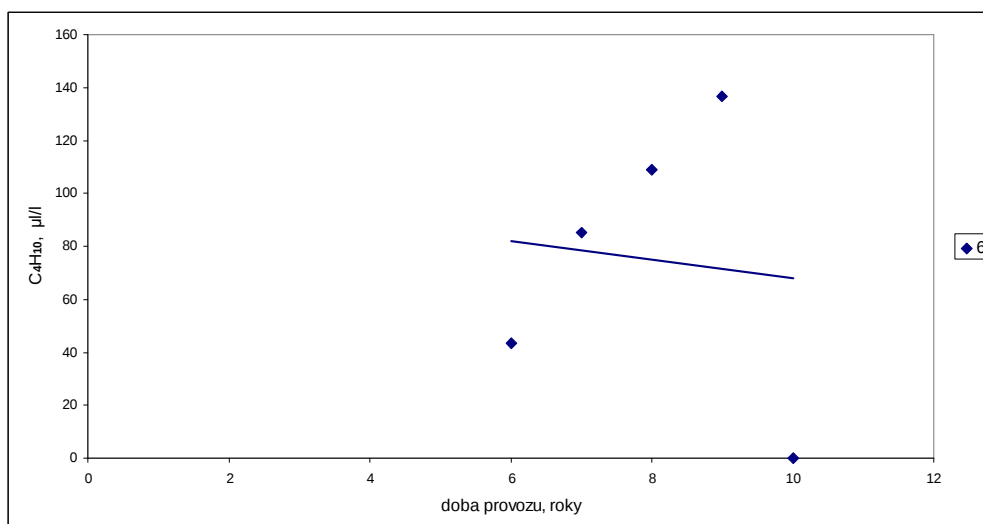
U transformátoru 6 CO_2 (obr. 2.33) roste a O_2 (obr. 2.27) klesá. Chování těchto plynů odpovídá chemická reakce popsaná rovnicí 9.



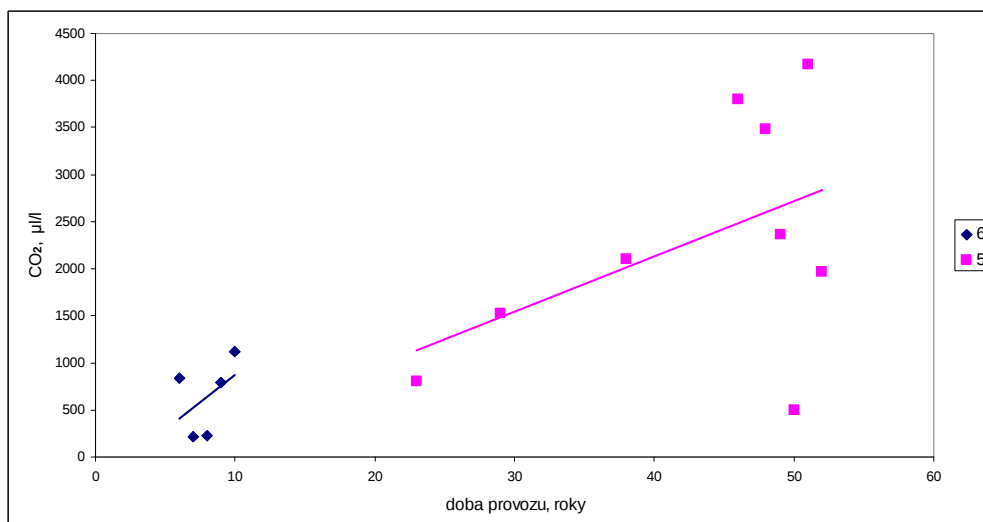
2.2.2 Rozbor teplotní závislosti plynů

V této části práce je pozornost soustředěna na **rozbor teplotní závislosti plynů**. Jsou sledovány všechny plyny, které byly analyzovány v kap. 2.2.1. Jediný rozdíl je v počtu

zkoumaných transformátorů. V tomto případě se jednalo pouze o 6 transformátorů, u zbývajících nebyly k dispozici teploty jednotlivých měření. V práci je důraz kladen na rozbor teplotní závislosti jednotlivých plynů. Teplotní závislosti byly graficky a početně zpracovány za účelem získání rovnice proložení grafu a koeficientu korelace proložení. Rovněž byl sledován trend vývoje plynů. Z grafických průběhů vyplynulo, že sledovaný datový soubor obsahuje rovněž v některých případech „extrémní“ hodnoty, což bylo také dokázáno i na základě matematické statistiky, konkrétně pomocí krabicových grafů v kap. 2.2.1. V dalším postupu byly tyto hodnoty vyřazeny a upravený soubor byl analyzován znovu předcházejícím způsobem. Získané výsledky byly porovnány.



Obr. 2.32 Lineární proložení grafu závislosti C₄H₁₀ u transformátoru 6 pro upravené soubory



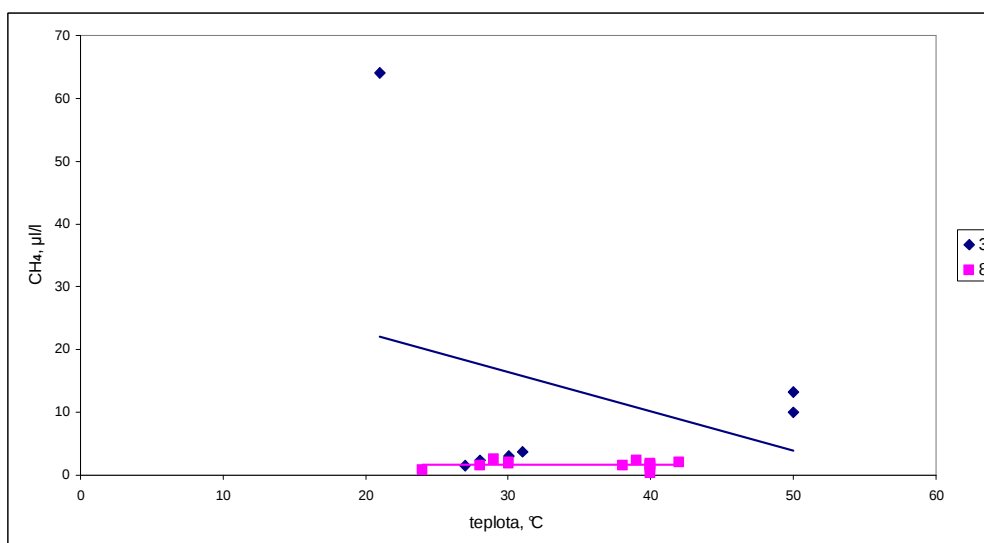
Obr. 2.33 Lineární proložení grafu závislosti CO₂ u transformátorů 5 a 6 pro upravené soubory

V závěrečné části kapitoly je také popsán **vliv teploty** na plyny.

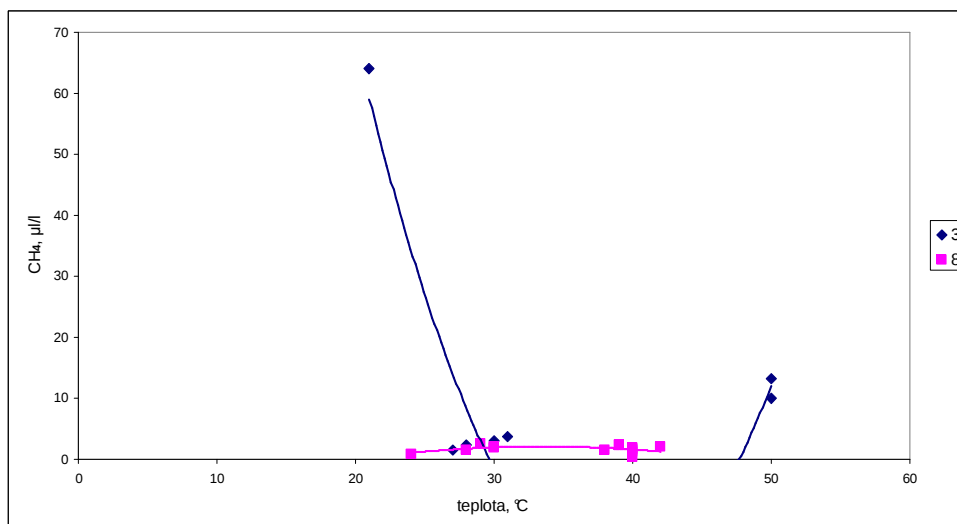
Grafické zpracování teplotních průběhů vybraných plynů v závislosti na době provozu je znázorněno pro dva transformátory na obr. 2.34, obr. 2.35, obr. 2.36, obr. 2.37, obr. 2.38 a obr. 2.39.

Na obr. 2.34 je graf lineárního proložení teplotní závislosti CH₄ pro transformátory 3 a 8. Rovnice proložených přímk jsou uvedeny v tab. 1.3 (Příloha 1). Rovněž i v tomto případě lze sledované závislosti popsat obecně rovnicí $y = ax + c$, kde a nabývá hodnot

z intervalu $\langle 0,0083; 0,6936 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle -9,6219; 4,1184 \rangle$ pro transformátory 3, 8 nebo rovnicí $y = -ax + c$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0018; 0,624 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 1,711; 35,127 \rangle$ pro transformátory 5, 6, 7, 9. Konkrétně pro transformátor 3 má rovnice tvar $y = -0,624x + 35,127$ a pro transformátor 8: $y = -0,0018x + 1,711$. Koeficienty korelace jsou uvedeny v tab. 2.6. Pro transformátor 3 je jeho hodnota: 0,3187 a pro transformátor 8: 0,0173. Hodnoty koeficientů korelace nejsou v tomto případě příliš vysoké, což podporuje i teoretické předpoklady, že množství plynů se s teplotou nemění lineárně. V případě ostatních transformátorů je možné vyslovit podobné závěry. Koeficienty korelace jsou rovněž nízké, největší hodnota tohoto koeficientu je u transformátoru 3 (0,2534), nejmenší u transformátoru 6 (0,0245).



Obr. 2.34 Lineární proložení grafu teplotní závislosti CH₄ u transformátoru 3 a 8

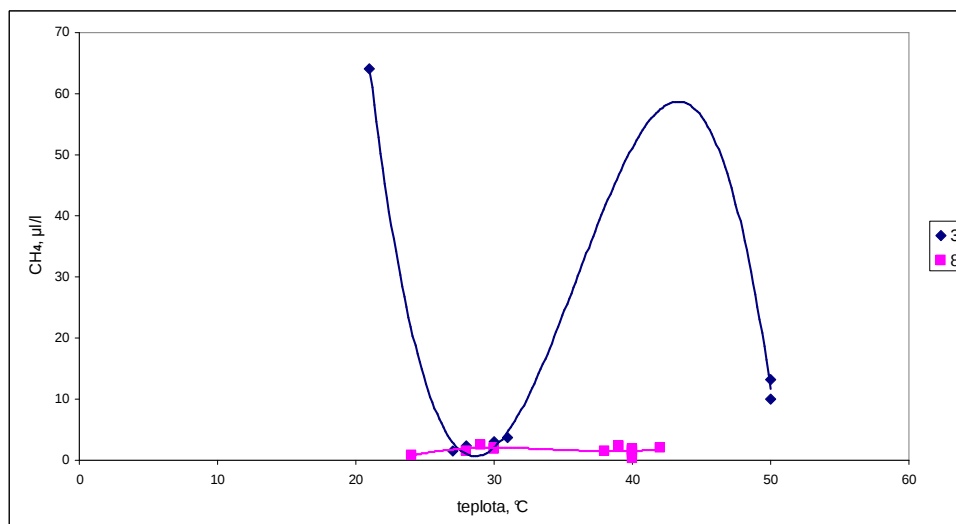


Obr. 2.35 Graf teplotní závislosti CH₄ proložený polynomem 2. stupně u transformátoru 3 a 8

Na obr. 2.35 je graf teplotní závislosti CH₄ proložený polynomem 2. stupně u transformátorů 3 a 8. Sledované závislosti lze popsat rovnicí: $y = ax^2 - bx + c$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0119; 0,2555 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,6699; 19,76 \rangle$, c nabývá hodnot z intervalu $\langle 12,686; 361,29 \rangle$ pro transformátory 3, 6 nebo rovnicí $y = -ax^2 + bx - c$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0112; 0,2937 \rangle$,

b nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,7534; 21,518 \rangle$, c nabývá hodnot z intervalu $\langle 10,557; 371,35 \rangle$ pro transformátory 5, 7, 8, 9. Konkrétně pro transformátor 3 má rovnice tvar $y = 0,2555x^2 - 19,76x + 361,29$ a pro transformátor 8: $y = -0,0112x^2 + 0,7534x - 10,556$. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.6. Pro transformátor 3 je jeho hodnota: 0,9432 a pro transformátor 8: 0,4162.

V případě ostatních transformátorů je rovnice křivky uvedena v tab. 1.3 (Příloha 1). Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.6. Nejvyšší hodnotu koeficientu korelace lze sledovat z ostatních transformátorů u transformátoru 5 (0,5845).



Obr. 2.36 Graf teplotní závislosti CH₄ proložený polynomem 3. stupně u transformátoru 3 a 8

Na obr. 2.36 je graf teplotní závislosti CH₄ proložený polynomem 3. stupně u transformátorů 3 a 8. Sledované závislosti lze popsat rovnicí: $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0018; 0,0073 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,1893; 0,7027 \rangle$, c nabývá hodnot z intervalu $\langle 6,4034; 21,841 \rangle$, d nabývá hodnot z intervalu $\langle 69,287; 210,02 \rangle$ pro transformátory 8, 9 nebo rovnicí $y = -ax^2 + bx - c + d$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0078; 0,094 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,698; 9,7338 \rangle$, c nabývá hodnot z intervalu $\langle 20,005; 329,93 \rangle$, d nabývá hodnot z intervalu $\langle 185,43; 3681,2 \rangle$ pro transformátory 3, 5, 6, 7, 9. Pro transformátor 3 je rovnice proložení: $y = -0,0367x^3 + 3,956x^2 - 136,35x + 1522,4$, pro transformátor 8: $y = 0,0018x^3 - 0,1893x^2 + 6,4034x - 69,287$.

V případě ostatních transformátorů je rovnice křivky uvedena v tab. 1.3 (Příloha 1). Hodnoty koeficientů korelace jsou opět uvedeny v tab. 2.6. Nejvyšší hodnotu koeficientu korelace lze sledovat z ostatních transformátorů u transformátoru 7 (1,0000) a transformátoru 6 (0,9794).

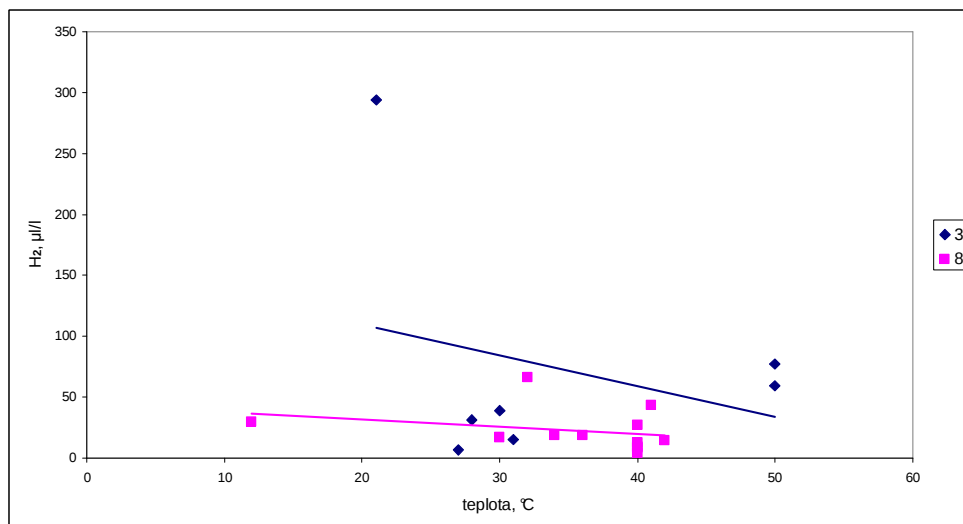
Z uvedených výsledků je patrné, že pro tento plyn je nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně.

Výsledky rozboru trendu vývoje plynů jsou shrnuty v tab. 2.8. Pro hodnocení se vycházelo pouze z lineárního proložení. Pro CH₄ lze konstatovat, že trend vývoje plynů má ve třech případech klesající charakter a ve třech případech charakter rostoucí.

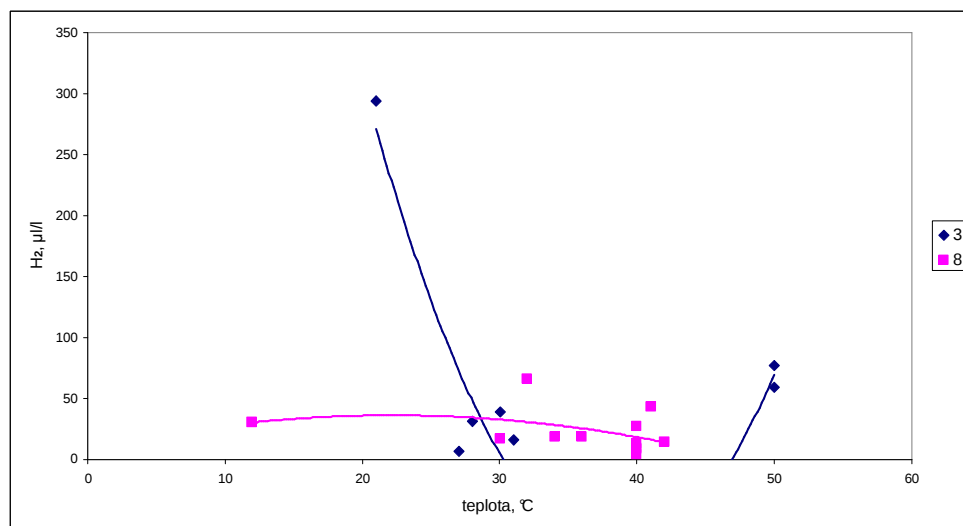
Na obr. 2.37 je graf lineárního proložení teplotní závislosti H₂ pro transformátory 3 a 8. Rovnice proložených přímek jsou uvedeny v tab. 1.3 (Příloha 1). I zde lze sledované závislosti popsat obecně rovnicí $y = ax + c$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,2262; 1,3073 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle -0,2433; 21,142 \rangle$, pro transformátory 5, 9

nebo rovnicí $y = -ax + b$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,596; 2,5324 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 41,454; 160,64 \rangle$ pro transformátory 3, 6, 7, 8. Konkrétně pro transformátor 3 má rovnice tvar $y = -2,5324x + 160,64$ a pro transformátor 8: $y = -0,596x + 43,751$. Koeficienty korelace jsou uvedeny v tab. 2.6. Pro transformátor 3 je jeho hodnota: 0,2919 a pro transformátor 8: 0,2874. Hodnoty koeficientů korelace nejsou v tomto případě příliš vysoké, což podporuje i teoretické předpoklady, že množství plynů se s teplotou nemění lineárně.

V případě ostatních transformátorů je možné vyslovit podobné závěry. Koeficienty korelace mají největší hodnotu u transformátoru 7 (0,8868) a nejmenší u transformátoru 9 (0,0883).



Obr. 2.37 Lineární proložení grafu teplotní závislosti H₂ u transformátoru 3 a 8

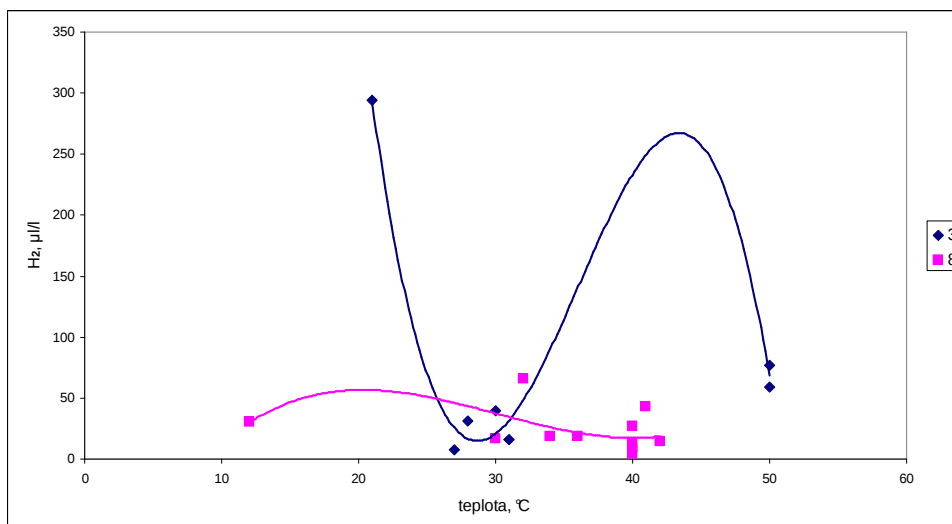


Obr. 2.38 Graf teplotní závislosti H₂ proložený polynomem 2. stupně u transformátoru 3 a 8

Na obr. 2.38 je graf teplotní závislosti H₂ proložený polynomem 2. stupně u transformátorů 3 a 8. Sledované závislosti lze popsat rovnicí: $y = ax^2 - bx + c$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,1459; 0,2395 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 8,2912; 87,442 \rangle$, c nabývá hodnot z intervalu $\langle 132,39; 1607,9 \rangle$ pro transformátory 3, 6, 7 nebo rovnicí $y = -ax^2 + bx - c$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0564; 0,1234 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 2,5066; 7,7308 \rangle$, c nabývá hodnot z intervalu

$\langle -8,4411; 83,555 \rangle$ pro transformátory 5, 8, 9. Konkrétně pro transformátor 3 má rovnice tvar $y = 1,1336x^2 - 87,442x + 1607,9$ a pro transformátor 8: $y = -0,0564x^2 + 2,5066x + 8,4411$. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.6. Pro transformátor 3 je jeho hodnota: 0,9888 a pro transformátor 8: 0,4056.

V případě ostatních transformátorů je rovnice křivky uvedena v tab. 1.3 (Příloha 1). Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.6. Nejvyšší hodnotu koeficientu korelace lze sledovat z ostatních transformátorů u transformátoru 6 (0,9964) a transformátoru 7 (1,0000).



Obr. 2.39 Graf teplotní závislosti H₂ proložený polynomem 3. stupně u transformátoru 3 a 8

Na obr. 2.39 je graf teplotní závislosti H₂ proložený polynomem 3. stupně u transformátorů 3 a 8. Sledované závislosti lze popsat rovnicí $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0102; 0,0103 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,9305; 1,0826 \rangle$, c nabývá hodnot z intervalu $\langle 25,071; 36,688 \rangle$, d nabývá hodnot z intervalu $\langle 154,75; 361,11 \rangle$, pro transformátory 8, 9 nebo rovnicí $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0057; 0,1586 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,7377; 17,141 \rangle$, c nabývá hodnot z intervalu $\langle 28,425; 591,87 \rangle$, d nabývá hodnot z intervalu $\langle 346,55; 6631,3 \rangle$, pro transformátory 3, 5, 6, 7. Pro transformátor 3: $y = -0,1586x^3 + 17,141x^2 - 591,87x + 6631,3$, pro transformátor 8: $y = 0,0103x^3 - 0,9305x^2 + 25,071x - 154,75$.

V případě ostatních transformátorů je rovnice křivky uvedena v tab. 1.3 (Příloha 1). Hodnoty koeficientů korelace jsou opět uvedeny v tab. 2.6. Nejvyšší hodnotu koeficientu korelace lze sledovat z ostatních transformátorů u transformátoru 6 (0,9964) a transformátoru 7 (1,0000).

Z uvedených výsledků je patrné, že pro tento plyn je nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně.

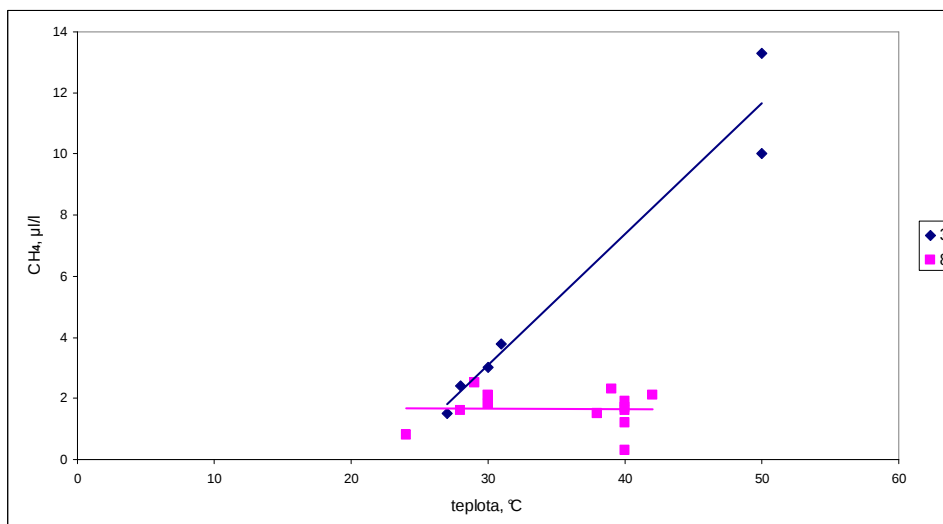
Výsledky rozboru trendu vývoje plynů jsou shrnuty v tab. 2.8. Pro hodnocení se vycházelo pouze z lineárního proložení. Pro H₂ lze konstatovat, že trend vývoje plynů má ve čtyřech případech klesající charakter a ve dvou případech charakter rostoucí.

V dalším je pozornost soustředěna na zbývající plyny. Rovnice proložení grafů jsou uvedeny v tab. 1.3 (Příloha 1), jejich koeficienty korelace jsou v tab. 2.6 a trendy vývoje plynů jsou opět shrnuty v tab. 2.8.

Ve shodě se závěry pro CH₄ a H₂ je pro ostatní plyny také nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně, a to pro všechny sledované transformátory. U některých plynů lze

však sledovat skutečnost, že je také vhodné proložení i polynomem 2. stupně. Konkrétně se jedná např. o N_2 , a to pro transformátory 5, 6, 8, 9.

V souvislosti s rozбором teplotní závislosti plynů byl proveden **rozbor trendů vývoje ostatních plynů**. U plynu C_2H_6 je u 2 transformátorů trend rostoucí (u 4 transformátorů klesající), u plynu C_2H_4 je u 3 transformátorů trend rostoucí (u 3 transformátorů klesající), u plynu C_2H_2 je u 4 transformátorů trend rostoucí (u 3 transformátorů klesající), u plynu C_3H_8 je u 1 transformátoru trend rostoucí (u 5 transformátorů klesající), u plynu $\sum C_xH_y$ je u 2 transformátorů trend rostoucí (u 4 transformátorů klesající), u plynu C_4H_{10} je u 2 transformátorů trend rostoucí (u 4 transformátorů klesající), u plynu O_2 je u 2 transformátorů trend rostoucí (u 4 transformátorů klesající), u plynu N_2 je u 4 transformátorů trend rostoucí (u 2 transformátorů klesající), u plynu CO_2 je u 3 transformátorů trend rostoucí (u 3 transformátorů klesající), u plynu CO je u 2 transformátorů trend rostoucí (u 4 transformátorů klesající) a nakonec u Q_p je u 4 transformátorů trend rostoucí (u 2 transformátorů klesající). Podrobnosti jsou v tab. 2.8.



Obr. 2.40 Lineární proložení grafu teplotní závislosti CH_4 u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

V dalším textu je pozornost soustředěna na analýzu **upravených souborů**.

Na obr. 2.40 je graf lineárního proložení teplotní závislosti CH_4 pro transformátory 3 a 8. Rovnice proložených přímk jsou uvedeny v tab. 1.4 (Příloha 1). Rovněž i v tomto případě lze sledované závislosti popsat obecně rovnicí $y = ax + c$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0083; 0,0618 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 2,7187; 6,2443 \rangle$ pro transformátory 5, 6, 7, 9 nebo rovnicí $y = -ax + c$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0018; 0,624 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 1,711; 35,127 \rangle$ pro transformátory 3, 8. Konkrétně pro transformátor 3 má rovnice tvar $y = -0,624x + 35,127$ a pro transformátor 8: $y = -0,0018x + 1,711$. Koeficienty korelace jsou uvedeny v tab. 2.7. Pro transformátor 3 je jeho hodnota: 0,3187 a pro transformátor 8: 0,1100. Hodnoty koeficientů korelace nejsou v tomto případě příliš vysoké, což podporuje i teoretické předpoklady, že množství plynů se s teplotou nemění lineárně. V případě ostatních transformátorů je možné vyslovit podobné závěry. Koeficienty korelace jsou rovněž nízké, největší hodnota tohoto koeficientu je u transformátoru 5 (0,1269), nejnižší u transformátoru 7 (0,0245).

Na obr. 2.41 je graf teplotní závislosti CH_4 proložený polynomem 2. stupně u transformátorů 3 a 8. Sledované závislosti lze popsat rovnicí: $y = -ax^2 + bx - c$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle -0,0119; 0,0678 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle -0,6699;$

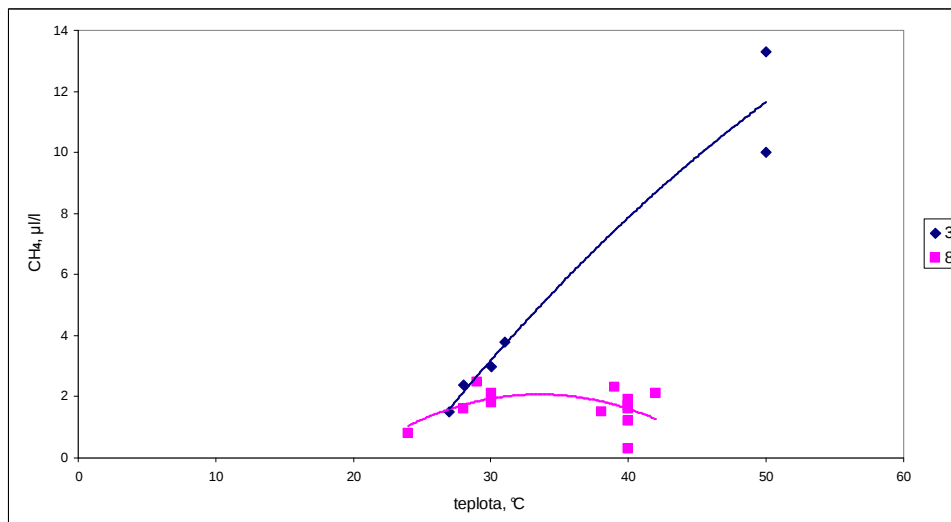
5,6293>, c nabývá hodnot z intervalu <-12,686; 90,777> pro transformátory 3, 5, 6, 7, 8, 9. Konkrétně pro transformátor 3 má rovnice tvar $y = -0,0045x^2 + 0,7793x - 16,161$ a pro transformátor 8: $y = -0,0112x^2 + 0,7534x - 10,556$. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.7. Pro transformátor 3 je jeho hodnota: 0,9757 a pro transformátor 8: 0,2025.

Tab. 2.6 Koeficient korelace proložení teplotní závislosti plynů u jednotlivých transformátorů

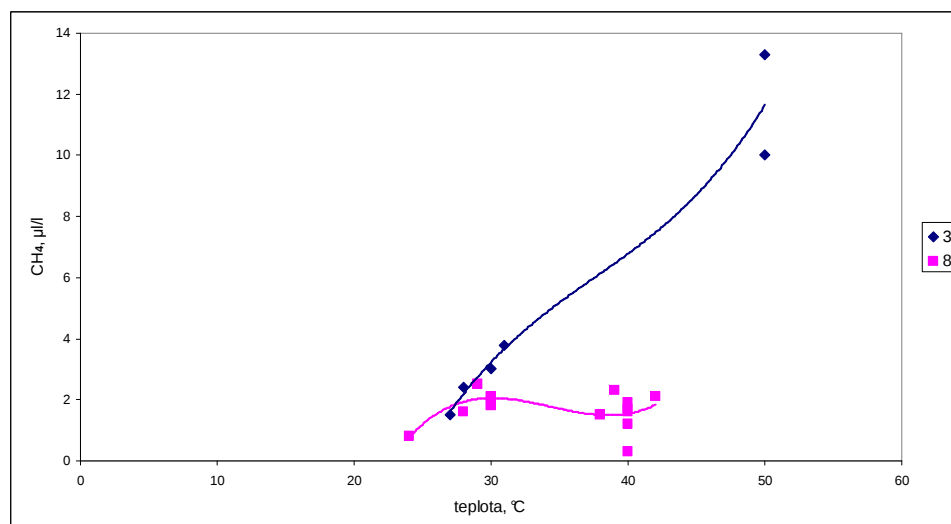
Plyn	Koeficient korelace proložení		Transformátor					
			3	5	6	7	8	9
CH ₄ (°C)	lineární		0,3187	0,2534	0,0500	0,0245	0,0173	0,0728
	polynomem	2. stupně	0,9432	0,5845	0,3061	0,2128	0,4162	0,2191
		3. stupně	0,9981	0,7645	0,9794	1,0000	0,5774	0,6087
C ₂ H ₆ (°C)	lineární		0,1212	0,3271	0,7780	0,0566	0,3927	0,0632
	polynomem	2. stupně	0,5903	0,5738	0,9952	0,9895	0,5842	0,1673
		3. stupně	0,8533	0,7001	0,9970	1,0000	0,7741	0,3309
C ₂ H ₄ (°C)	lineární		0,1857	0,3406	0,7077	0,5441	0,3007	0,1109
	polynomem	2. stupně	0,2161	0,7505	0,9648	0,9971	0,6239	0,2322
		3. stupně	0,2379	0,9501	0,9990	1,0000	0,7817	0,3672
C ₂ H ₂ (°C)	lineární		0,8533	0,2818	0,8304	0,5777	0,2349	0,1311
	polynomem	2. stupně	0,8573	0,2917	0,9907	0,9991	0,2804	0,1587
		3. stupně	0,9317	0,6666	0,9910	1,0000	0,5136	0,2168
C ₃ H ₈ (°C)	lineární		0,1072	0,1470	0,3670	0,0995	0,2500	0,2587
	polynomem	2. stupně	0,1720	0,6295	0,4341	0,7278	0,5570	0,2612
		3. stupně	0,3955	0,6299	0,6584	1,0000	0,7436	0,3867
C ₄ H ₁₀ (°C)	lineární		0,0806	0,4713	0,7695	0,6707	0,1990	0,1852
	polynomem	2. stupně	0,3828	0,6138	0,7697	0,8702	0,4860	0,3045
		3. stupně	0,4453	0,7495	0,9853	1,0000	0,5909	0,3947
ΣC _x H _y (°C)	lineární		0,1225	0,0265	0,6796	0,6993	0,2814	0,0173
	polynomem	2. stupně	0,9456	0,8778	0,9293	0,7453	0,4839	0,1600
		3. stupně	0,9714	0,8835	0,9917	1,0000	0,6012	0,3705
H ₂ (°C)	lineární		0,2919	0,4791	0,4302	0,8868	0,2874	0,0883
	polynomem	2. stupně	0,9360	0,4914	0,9915	0,9673	0,3784	0,2548
		3. stupně	0,9888	0,5516	0,9964	1,0000	0,4056	0,2927
O ₂ (°C)	lineární		0,3194	0,4342	0,0678	0,7726	0,7527	0,1720
	polynomem	2. stupně	0,6536	0,4347	0,8943	0,8356	0,8854	0,2470
		3. stupně	0,7461	0,5973	0,9009	1,0000	0,9100	0,4914
N ₂ (°C)	lineární		0,5425	0,1783	0,2661	0,7315	0,7712	0,0141
	polynomem	2. stupně	0,7859	0,9138	0,9363	0,8608	0,9385	0,2737
		3. stupně	0,8012	0,9467	0,9971	1,0000	0,9458	0,2857
CO ₂ (°C)	lineární		0,6573	0,4270	0,4766	0,4300	0,4480	0,1082
	polynomem	2. stupně	0,8992	0,6720	0,5628	0,5528	0,4486	0,2054
		3. stupně	0,9030	0,9107	0,9986	1,0000	0,6107	0,2200
CO(°C)	lineární		0,7541	0,2202	0,4445	0,5127	0,3533	0,2170
	polynomem	2. stupně	0,8267	0,5541	0,4863	0,5906	0,4531	0,2474
		3. stupně	0,8282	0,9222	0,7906	1,0000	0,6615	0,2528
Q _P (°C)	lineární		0,5985	0,2287	0,0616	0,6907	0,2621	0,0825
	polynomem	2. stupně	0,8204	0,8002	0,6173	0,8482	0,3110	0,2735
		3. stupně	0,8322	0,8201	0,9303	1,0000	0,3336	0,3335

V případě ostatních transformátorů je rovnice křivky uvedena v tab. 1.4 (Příloha 1). U rovnice křivky a nabývá hodnot z intervalu <-0,0481; 0,0251>, b nabývá hodnot z intervalu <-2,0439; 3,4802> a c nabývá hodnot z intervalu <-52,5380; 48,3490>. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.7. Nejvyšší hodnotu

koeficientu korelace lze sledovat z ostatních transformátorů u transformátoru 5 (0,7380) a 6 (0,3061).



Obr. 2.41 Graf teplotní závislosti CH₄ proložena polynome 2. stupně u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory



Obr. 2.42 Graf teplotní závislosti CH₄ proložena polynome 3. stupně u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

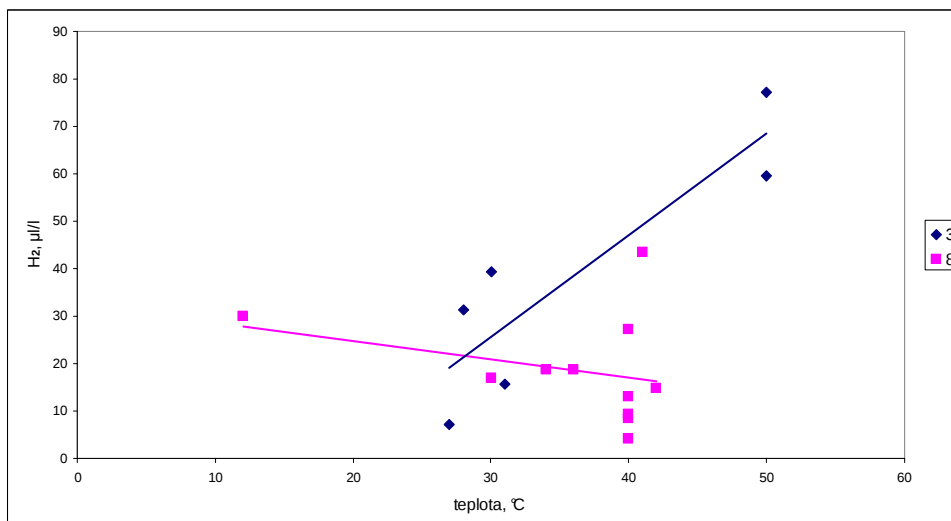
Na obr. 2.42 je graf teplotní závislosti CH₄ proložený polynome 3. stupně u transformátorů 3 a 8. Sledované závislosti lze popsat rovnicí: $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0009; 0,0182 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,1032; 1,9955 \rangle$, c nabývá hodnot z intervalu $\langle 4,1935; 72,166 \rangle$, d nabývá hodnot z intervalu $\langle 54,405; 850,2 \rangle$ pro transformátory 3, 5, 8, 9 nebo rovnicí $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0078; 0,0844 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,698; 5,4366 \rangle$, c nabývá hodnot z intervalu $\langle 20,005; 115,7 \rangle$, d nabývá hodnot z intervalu $\langle 185,43; 816,66 \rangle$ pro transformátory 6, 7. Pro transformátor 3: $y = 0,0009x^3 - 0,1032x^2 + 4,1935x - 54,405$, pro transformátor 8: $y = 0,0018x^3 - 0,1893x^2 + 6,4034x - 69,287$.

V případě ostatních transformátorů je rovnice křivky uvedena v tab. 1.4 (Příloha 1). Hodnoty koeficientů korelace jsou opět uvedeny v tab. 2.7. Nejvyšší hodnotu koeficientu

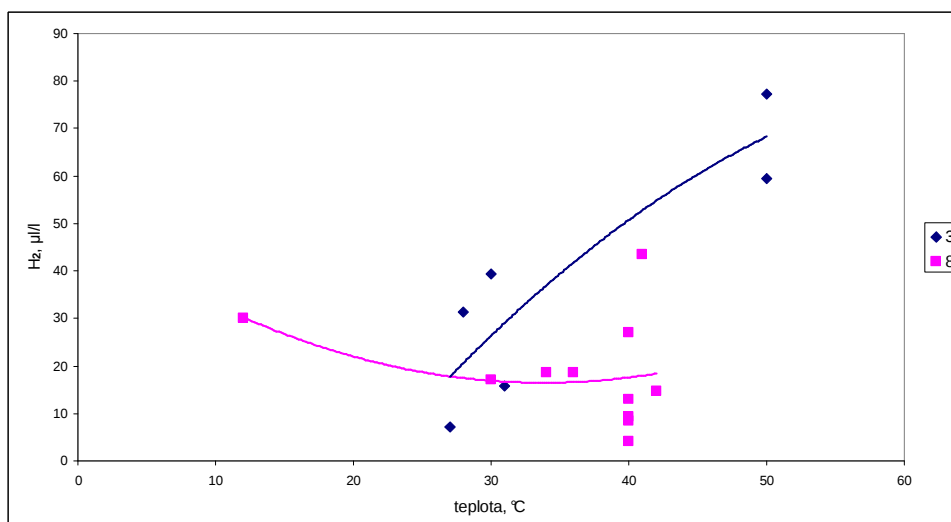
korelace lze sledovat z ostatních transformátorů u transformátoru 6 (0,9794) a u transformátoru 7 (1,0000).

Z uvedených výsledků je patrné, že pro tento plyn je nejvhodnější proložení polynomm 3. stupně.

Výsledky rozboru trendu vývoje plynů jsou shrnuty v tab. 2.9. Pro hodnocení se vycházelo pouze z lineárního proložení. Pro CH_4 lze konstatovat, že trend vývoje plynů má rostoucí charakter.



Obr. 2.43 Lineární proložení grafu teplotní závislosti H_2 u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory



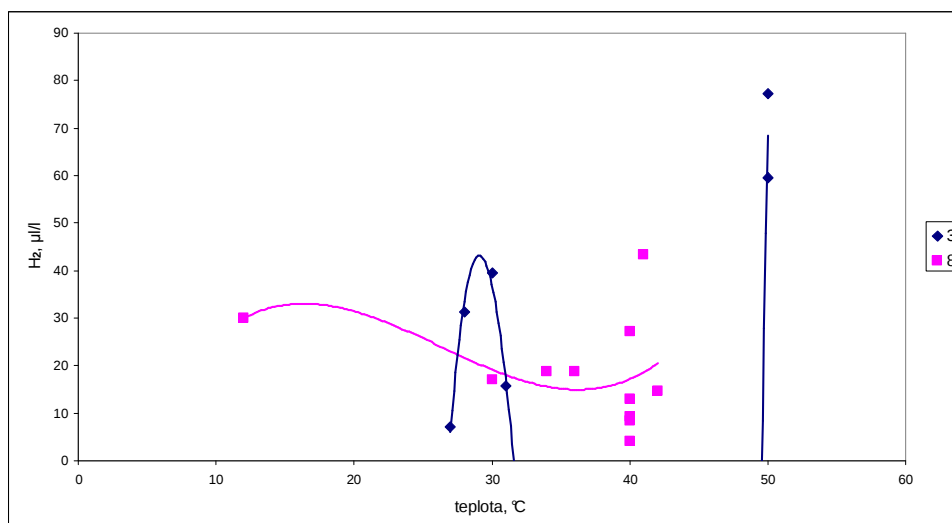
Obr. 2.44 Graf teplotní závislosti H_2 proložení polynomm 2. stupně u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

Na obr. 2.43 je graf lineárního proložení teplotní závislosti H_2 pro transformátory 3 a 8. Rovnice proložených přímek jsou uvedeny v tab. 1.4 (Příloha 1). I zde lze sledované závislosti popsat obecně rovnicí $y = ax - c$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,2262; 2,1467 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle -21,142; 38,896 \rangle$ pro transformátory 3, 5, 9 nebo rovnicí $y = -ax + b$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,3831; 1,1379 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 32,358; 48,583 \rangle$ pro transformátory 6, 7. Konkrétně pro transformátor 3 má rovnice tvar $y = 2,1467x - 38,896$ a pro transformátor 8: $y = -0,3831x + 32,358$. Koeficienty korelace jsou uvedeny v tab. 2.7. Pro transformátor 3 je jeho hodnota: 0,8885 a pro transformátor 8: 0,2961.

V případě ostatních transformátorů je koeficient korelace největší u transformátoru 7 (0,8868), nejnižší u transformátoru 9 (0,0883).

Na obr. 2.44 je graf teplotní závislosti H_2 proložený polynomem 2. stupně u transformátorů 3 a 8. Rovnice proložených přímek jsou uvedeny v tab. 1.4 (Příloha 1). Sledované závislosti lze popsat rovnicí: $y = ax^2 + bx + c$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,029; 0,2395 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 1,963; 14,394 \rangle$, c nabývá hodnot z intervalu $\langle 49,646; 221,19 \rangle$ pro transformátory 6, 7, 8 nebo rovnicí $y = -ax^3 + bx^2 - cx$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0343; 0,1234 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 4,8441; 7,7308 \rangle$, c nabývá hodnot z intervalu $\langle 75,152; 88,066 \rangle$ pro transformátory 3, 5, 9. Konkrétně pro transformátor 3 má rovnice tvar $y = -0,0343x^2 + 4,8441x - 88,066$ a pro transformátor 8: $y = 0,029x^2 - 1,963x + 49,646$. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.7. Pro transformátor 3 je jeho hodnota: 0,8893 a pro transformátor 8: 0,3477.

V případě ostatních transformátorů je rovnice křivky uvedena v tab. 1.4 (Příloha 1). Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.7. Nejvyšší hodnotu koeficientu korelace lze sledovat z ostatních transformátorů u transformátoru 6 (0,9915) a transformátoru 7 (0,9673).



Obr. 2.45 Graf teplotní závislosti H_2 proložený polynomem 3. stupně u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

Na obr. 2.45 je graf teplotní závislosti H_2 proložený polynomem 3. stupně u transformátorů 3 a 8. Sledované závislosti lze popsat rovnicí: $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0046; 0,3756 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,3644; 40,565 \rangle$, c nabývá hodnot z intervalu $\langle 8,2161; 1406,4 \rangle$, d nabývá hodnot z intervalu $\langle 24,062; 15788 \rangle$, pro transformátory 3, 8, 9 nebo rovnicí $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0057; 0,0477 \rangle$, b nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,7377; 5,0241 \rangle$, c nabývá hodnot z intervalu $\langle 28,43; 172,6 \rangle$, d nabývá hodnot z intervalu $\langle 346,55; 15788 \rangle$, pro transformátory 5, 6, 7. Pro transformátor 3: $y = 0,3756x^3 - 40,565x^2 + 1406,4x - 15788$, pro transformátor 8: $y = 0,0046x^3 - 0,3644x^2 + 8,2161x - 24,062$.

V případě ostatních transformátorů je rovnice křivky uvedena v tab. 1.4 (Příloha 1). Hodnoty koeficientů korelace jsou opět uvedeny v tab. 2.7. Nejvyšší hodnotu koeficientu korelace lze sledovat z ostatních transformátorů u transformátoru 6 (0,9964) a 7 (1,0000).

Z uvedených výsledků je patrné, že pro tento plyn je nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně.

Tab. 2.7 Koeficient korelace proložení teplotní závislosti plynů u jednotlivých transformátorů pro upravené soubory

Plyn	Koeficient korelace proložení		Transformátor					
			3	5	6	7	8	9
CH ₄ (°C)	lineární		0,3187	0,1269	0,0500	0,0245	0,1100	0,0728
	polynomem	2. stupně	0,9757	0,7380	0,3061	0,2128	0,2025	0,2191
		3. stupně	0,9757	0,8411	0,9794	1,0000	0,5386	0,6087
C ₂ H ₆ (°C)	lineární		0,1212	0,3271	0,7780	0,0566	0,3387	0,0632
	polynomem	2. stupně	0,5903	0,5738	0,9952	0,9895	0,3450	0,1673
		3. stupně	0,8533	0,7001	0,9970	1,0000	0,3464	0,3309
C ₂ H ₄ (°C)	lineární		0,1857	0,3406	0,7077	0,5441	0,3219	0,1109
	polynomem	2. stupně	0,2161	0,7505	0,9648	0,9971	0,3557	0,2322
		3. stupně	0,2379	0,9501	0,9990	1,0000	0,4098	0,3672
C ₂ H ₂ (°C)	lineární		0,8533	0,2818	0,8304	0,5777	0,2349	0,1311
	polynomem	2. stupně	0,8573	0,2917	0,9907	0,9991	0,2804	0,1587
		3. stupně	0,9317	0,6666	0,9910	1,0000	0,5136	0,2168
C ₃ H ₈ (°C)	lineární		0,2234	0,1470	0,3670	0,0995	0,3514	0,2587
	polynomem	2. stupně	0,4897	0,6295	0,4341	0,7278	0,4992	0,2612
		3. stupně	0,5444	0,6299	0,6584	1,0000	0,5881	0,3867
C ₄ H ₁₀ (°C)	lineární		0,0806	0,4713	0,7695	0,6707	0,1990	0,1852
	polynomem	2. stupně	0,3828	0,6138	0,7697	0,8702	0,4860	0,3045
		3. stupně	0,4453	0,7495	0,9853	1,0000	0,5909	0,3947
Σ C _x H _y (°C)	lineární		0,1225	0,0265	0,6796	0,6993	0,4802	0,0173
	polynomem	2. stupně	0,9456	0,8778	0,9293	0,7453	0,6048	0,1600
		3. stupně	0,9714	0,8835	0,9917	1,0000	0,6122	0,3705
H ₂ (°C)	lineární		0,8885	0,4791	0,4302	0,8868	0,2961	0,0883
	polynomem	2. stupně	0,8893	0,4914	0,9915	0,9673	0,3477	0,2548
		3. stupně	0,9751	0,5516	0,9964	1,0000	0,3633	0,2927
O ₂ (°C)	lineární		0,0173	0,4342	0,0678	0,7726	0,1962	0,1720
	polynomem	2. stupně	0,8118	0,4347	0,8943	0,8356	0,2594	0,2470
		3. stupně	0,8434	0,5973	0,9009	1,0000	0,4715	0,4914
N ₂ (°C)	lineární		0,5425	0,1783	0,2661	0,7315	0,2534	0,2100
	polynomem	2. stupně	0,7859	0,9138	0,9363	0,8608	0,4162	0,6731
		3. stupně	0,8012	0,9467	0,9971	1,0000	0,5524	0,6906
CO ₂ (°C)	lineární		0,6573	0,4270	0,4766	0,4300	0,4480	0,1082
	polynomem	2. stupně	0,8992	0,6720	0,5628	0,5528	0,4486	0,2054
		3. stupně	0,9030	0,9107	0,9986	1,0000	0,6107	0,2200
CO(°C)	lineární		0,7541	0,2202	0,4445	0,5127	0,3533	0,1192
	polynomem	2. stupně	0,8267	0,5541	0,4863	0,5906	0,4531	0,4658
		3. stupně	0,8282	0,9222	0,7906	1,0000	0,6615	0,4810
Q _p (°C)	lineární		0,5985	0,2287	0,0616	0,6907	0,2621	0,0825
	polynomem	2. stupně	0,8204	0,8002	0,6173	0,8482	0,3110	0,2735
		3. stupně	0,8322	0,8201	0,9303	1,0000	0,3336	0,3335

Výsledky rozboru trendu vývoje plynů jsou shrnuty v tab. 2.9. Pro hodnocení se vycházelo pouze z lineárního proložení. Pro H₂ lze konstatovat, že trend vývoje plynů má ve třech případech klesající charakter a ve třech případech charakter rostoucí.

V dalším je pozornost soustředěna na zbývající plyny. Rovnice proložení grafů jsou uvedeny v tab. 1.4 (Příloha 1), jejich koeficienty korelace jsou v tab. 2.7 a trendy vývoje plynů jsou opět shrnuty v tab. 2.9.

Ve shodě se závěry pro CH_4 a H_2 je pro ostatní plyny také nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně, a to pro všechny sledované transformátory. U některých plynů lze však sledovat skutečnost, že je také vhodné proložení i polynomem 2. stupně. Konkrétně se např. jedná o C_2H_6 , a to pro transformátory 6, 7, 8.

Pro ostatní plyny lze konstatovat v případě lineárního proložení, že vývoj plynů má v pěti případech klesající charakter, ve dvou rostoucí a ve čtyřech je polovina případů klesající a zbývající polovina rostoucí.

Nakonec této kapitoly je provedeno srovnání výsledků a závěrů pro soubory naměřených dat a soubory dat bez extrémních hodnot.

Obecně lze konstatovat, že vyřazení extrémních hodnot má vliv na hodnocení výsledků. Úpravou souborů vyřazením extrémních hodnot však nemá vliv na skutečnost, že nejvhodnější proložení průběhů hodnot je polynomem 3. stupně. Ovlivněny ale byly rovnice proložení grafů a jejich koeficienty korelace, podrobnosti ukazuje tab. 1.3 (Příloha 1), tab. 1.4 (Příloha 1) a tab. 2.6, tab. 2.7. Po vyřazení extrémních hodnot se zmenšila ve 9 případech hodnota koeficientů korelace a v 6 případech se tato hodnota zvětšila. Toto se zvláště projevilo u transformátoru 8. Rovněž výsledky rozboru trendů plynů byly ovlivněny. Obecně se průběh změnil u čtyř plynů, projevilo se to v největší míře u transformátoru 3. Podrobnosti lze sledovat v tab. 2.8 a tab. 2.9.

Získané výsledky jsou však logické, protože rozsahy sledovaných souborů jsou malé a každá změna může soubor značně ovlivnit.

V další části kapitoly je rozebrán možný **vliv teploty** na plyny.

Jak již bylo uvedeno dříve, plyny vznikají rozkladem oleje a papírové izolace, jsou také zapříčiněné elektrickými a tepelnými poruchami. V tab. 2.10 je přehled plynů vzniklých při těchto poruchách.

Celulózová vazba izolace je méně teplotně stabilní než uhlovodíková vazba oleje. K štěpení molekul začíná docházet již při teplotě nad $100\text{ }^\circ\text{C}$, k úplnému rozkladu a uhelnatění při teplotě nad $300\text{ }^\circ\text{C}$. Jejimi produkty jsou CO , CO_2 a H_2O v množství větším, než při oxidaci oleje. Avšak také vzniká malé množství uhlovodíkových plynů a furanických sloučenin. Vznik CO a CO_2 se zvyšuje s teplotou, s obsahem O_2 v oleji a obsahem vlhkosti v celulóze.

Jak již bylo zmíněno, kaly zhoršují schopnost odvádění tepla z povrchu vinutí. Tím dochází k oteplování vodičů a kaly na povrchu vinutí houstnou a zabraňují proudění oleje. Tak dochází k urychlenému stárnutí papírové izolace až k jeho zničení a mezizávitovému skratu či elektrickému přeskoku. Ovlivnění papírové izolace teplotou se řídí Montsingerovým pravidlem. Pravidlo říká, že když se teplota zvýší o $8\text{ }^\circ\text{C}$, tak se doba života izolace zkrátí o polovinu a naopak. To platí u teploty nad $100\text{ }^\circ\text{C}$. U teploty pod $100\text{ }^\circ\text{C}$, k tomuto dochází při zvýšení teploty o $8\text{--}10\text{ }^\circ\text{C}$.

Montsingerovo pravidlo je vyjádřeno rovnicí 10:

$$T = T_0 e^{(-A\theta)}, \quad (10)$$

kde:

T – doba života izolace

T_0 – materiálová konstanta, fiktivní doba života při teplotě $0\text{ }^\circ\text{C}$

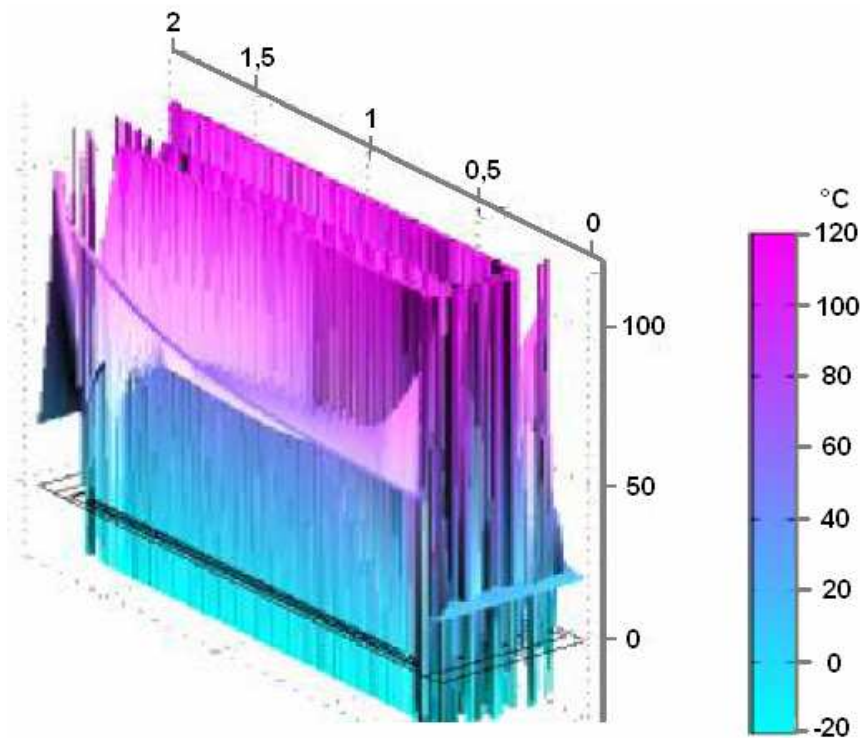
A – materiálová konstanta

θ – konstantí teplota stárnutí $^\circ\text{C}$

Zlogaritmováním rovnice 10 se dostane přímka poklesu mechanické pevnosti papíru v oleji. Rovnice této přímky je rovnice 11.

$$\ln t = T_0' - A\theta, \quad (11)$$

Kaly nejenže způsobují větší zahřívání transformátoru, ale také se dostávají přímo do celulózy a rozkládají ji.



Obr. 2.46 Teplotní model transformátoru [34]

Oxidace byla již popsána již dříve. I na ni má vliv teplota a to tak, že čím je větší, tím je oxidace rychlejší. Tato oxidace je tzv. termooxidace. Stupeň tepelně-oxidačního zestárnutí oleje indikuje σ . Rychlost reakce se řídí tzv. Arrheniovým zákonem, který říká, že když se teplota zvýší o 10 °C, zdvojnásobí se rychlost oxidace. Arrheniův zákon je dán rovnicí 12,

$$k = k_0 \cdot e^{\left(-\frac{E_A}{RT}\right)}, [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (12)$$

kde:

k_0 – max. hodnota konstanty rychlosti reakce ,

E_A – aktivační energie reakce $\text{kJ}\cdot\text{kmol}^{-1}$,

R – univerzální plynová konstanta,

T – termodynamická teplota K.

Pak je rychlost reakce :

$$W_R = k_0 \cdot e^{\left(-\frac{\sum E_A}{RT}\right)} C_A \cdot C_B, [\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (13)$$

Tab. 2.8 Výsledky rozboru trendů vývoje všech plynů teplotně závislé pro jednotlivé transformátory

Transformátor	Trend vývoje plynů												
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C ₃ H ₈	ΣC _x H _y	C ₄ H ₁₀	H ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	CO	Q _p
3	K	R	R	R	K	R	R	K	R	R	R	R	R
5	R	K	K	R	K	K	K	R	K	R	K	K	R
6	R	K	K	K	K	K	K	K	K	R	R	K	R
7	R	K	R	R	R	R	K	K	K	K	K	K	K
8	K	K	K	K	K	K	R	K	K	K	K	K	K
9	R	R	R	R	K	K	K	R	R	R	R	R	R

Tab. 2.9 Výsledky rozboru trendů vývoje všech plynů teplotně závislé pro jednotlivé transformátory pro upravené soubory

Transformátor	Trend vývoje plynů												
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C ₃ H ₈	ΣC _x H _y	C ₄ H ₁₀	H ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	CO	Q _p
3	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
5	R	K	K	R	K	K	K	R	K	R	K	K	R
6	R	K	K	K	K	K	K	K	K	R	R	K	R
7	R	K	R	R	R	R	K	K	K	K	K	K	K
8	K	K	K	K	K	K	R	K	K	K	K	K	K
9	R	R	R	R	K	K	K	R	R	K	R	R	R

Tab. 2.10 Přehled plynů vzniklých při poruchách

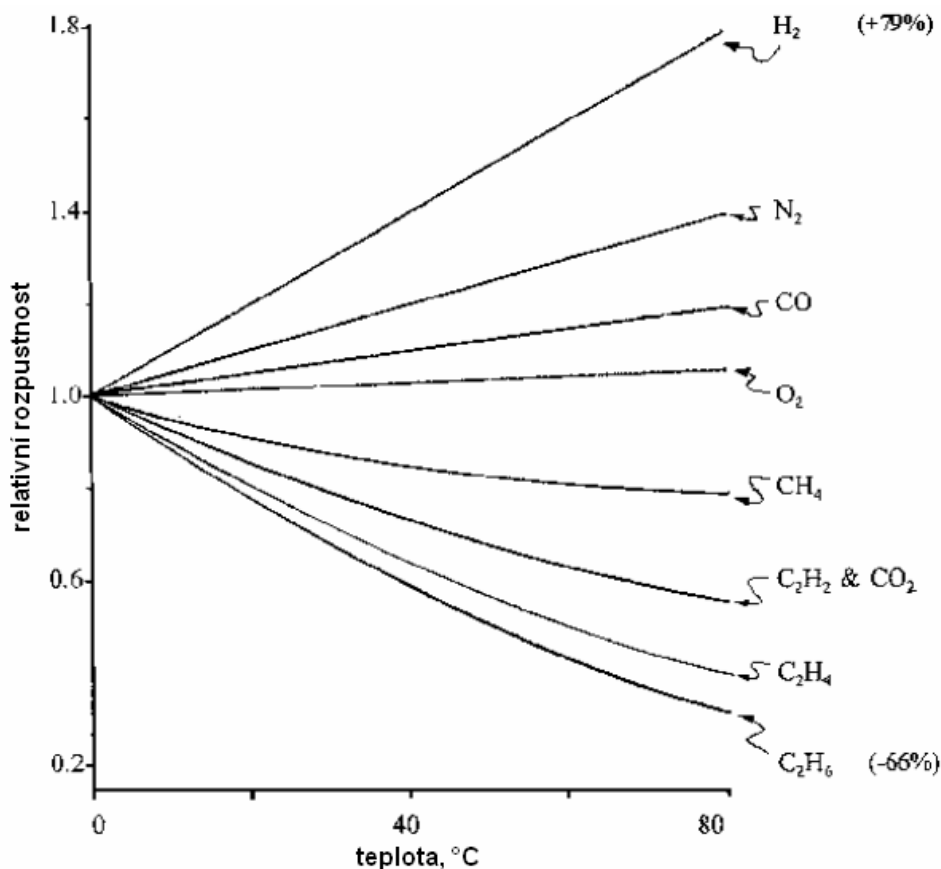
Typ poruchy	Příklad	Druh plynu
elektrická	částečné výboje, jiskření, výboje	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂ , CO, CO ₂
tepelná	přetížení, špatné chlazení, špatný kontakt	CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , CO, CO ₂
jiná	netěsnost	O ₂ , N ₂

kde:

C_A a C_B jsou koncentrace složek produktů chemických reakcí.

Tepelným rozkladem vznikají plyny jako je např. CO , CO_2 , H_2 , CH_4 a O_2 .

Plyny uvolněné při rozkladu oleje jsou uvedeny na obr.2.48. Jsou zde naznačené poruchy a teploty, při kterých jednotlivé plyny vznikají. H_2 a CH_4 se v malém množství začínají tvořit při teplotě 150°C . C_2H_6 vzniká již při teplotě 250°C . C_2H_4 začíná vznikat při teplotě nad 350°C , při teplotě $500\text{--}800^\circ\text{C}$ se objevuje uhlík (C). Ten vzniká při dohořívání oblouku a v okolí velmi teplých míst. Mezi teplotou $750\text{--}1200^\circ\text{C}$ dochází k nárůstu C_2H_2 , tato teplota je spojena s elektrickým obloukem.

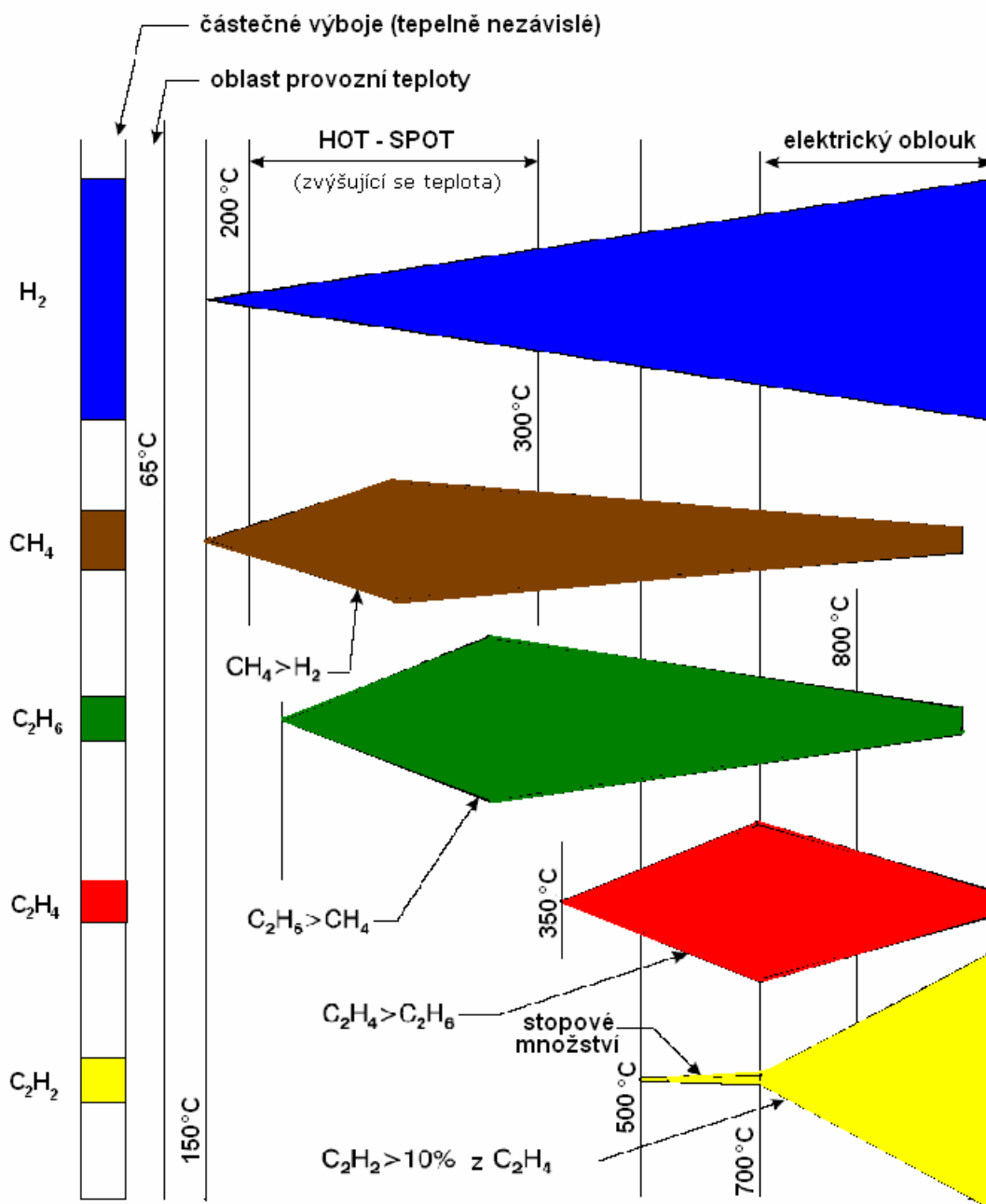


Obr. 2.47 Rozpustnost plynu v závislosti na teplotě [32]

Při analýze poruch se musí brát v úvahu také rozpustnost plynů v oleji, která je značně ovlivněna teplotou, jak je vidět na obr. 2.47. Rozpustnost vodíku v oleji s teplotou stoupá až o 79%, kdežto u ethanu rozpustnost klesá až o 66%.

Z výsledků teplotní závislosti plynů proložené lineárně vyplývá, že C_2H_6 má ve třech případech klesající a ve třech případech rostoucí charakter. Z obr. 2.47 lze pozorovat, že rozpustnost C_2H_6 by měla s teplotou klesat. Tento průběh splňují transformátory 5, 6, 7 a 8.

Dále je z obr. 2.47 vidět průběh C_2H_2 a CO_2 . Tyto plyny mají také klesající charakter. Z výsledků je patrné, že tento předpokládaný průběh mají jen transformátory 6 a 8. U CO_2 jsou výsledky o něco lepší, zde klesající průběh mají transformátory 5, 7 a 8. Rostoucí charakter má N_2 . V případě analyzovaných transformátorů má polovina klesající a polovina rostoucí charakter. N_2 roste u transformátorů 3, 5 a 6. Výsledky mohou být ovlivněny malým počtem hodnot daných plynů.



Obr. 2.48 Závislost plynů na teplotě [34]

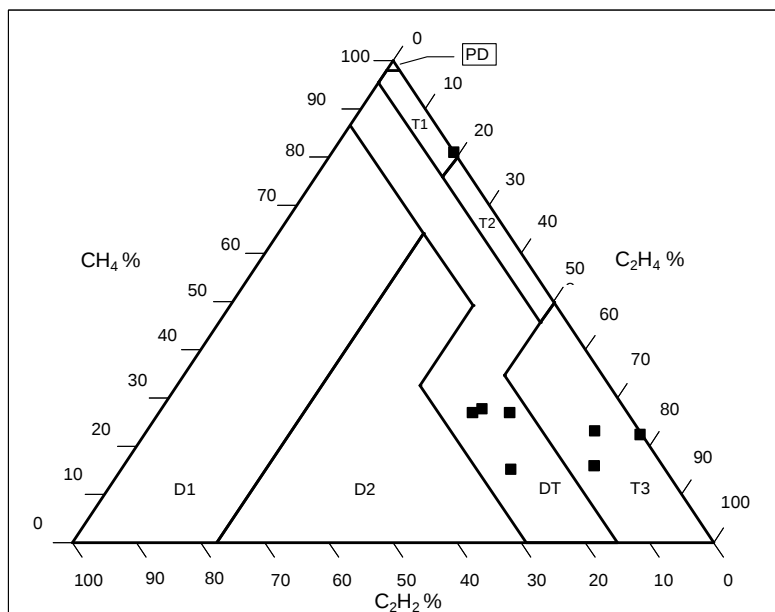
2.2.3 Vybrané metody poměrů plynů

V této kapitole jsou uvedeny výsledky vybraných metod poměrů plynů. Ve shodě s kap. 1.2.3 z teoretické části jsou diskutovány tyto metody: metoda Duvalova trojúhelníku, Rogersova metoda (1), Rogersova metoda (2), Dörnenburgova metoda a metoda podle IEC 60599.

Nejprve jsou uvedeny výsledky aplikace metody Duvalova trojúhelníku pro dva transformátory a dále výsledky ostatních metod jsou shrnuty v tabulkách. Úplně na závěr této kapitoly jsou rozebrány výsledky pro všechny zbývající transformátory.

Na obr. 2.49 jsou znázorněny výsledky metody Duvalova trojúhelníku pro transformátor 3 a souhrnně pro tento transformátor popsány v tab. 2.11. Z nich je patrné, že se u tohoto transformátoru vyskytovaly převážně poruchy tepelné, dále tepelné poruchy nebo elektrické výboje a výboje částečné.

Na obr. 2.50 je možné sledovat výsledky metody Duvalova trojúhelníku pro transformátor 8. I v tomto případě jsou výsledky souhrnně uvedeny v tab. 2.12. Nejčastěji se vyskytovaly tyto poruchy: tepelná porucha nebo elektrický výboj, hoření oblouku.



Obr. 2.49 Metoda Duvalova trojúhelníku pro transformátor 3

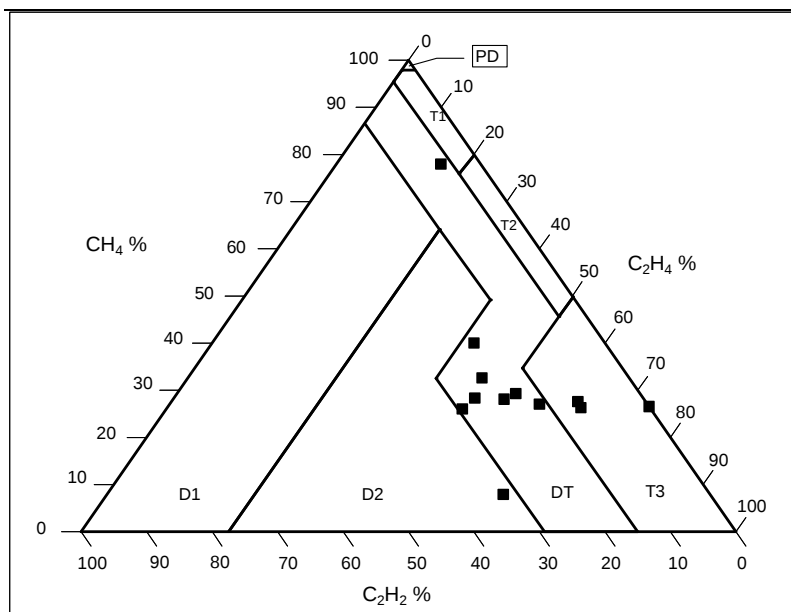
Tab. 2.11 Výsledky metody Duvalova trojúhelníku pro transformátor 3

Výsledky metody Duvalova trojúhelníku pro transformátor 3									
Doba provozu [roky]	27	31	40	43	48	50	52	53	54
Druh poruchy	4	1	2	0	2	0	2	0	0
Legenda poruch									
0	tepelná porucha nebo elektrický výboj								
1	tepelná porucha do 300 °C								
2	tepelná porucha nad 700 °C								
3	vysokoenergetický elektrický výboj - oblouk								
4	částečné výboje								

Následně jsou srovnány výsledky ostatních metod pro transformátor 3, což je rozebráno v tab. 2.13. Totéž je provedeno pro transformátor 8. V tab. 2.14 jsou opět srovnány výsledky ostatních metod pro tento transformátor. V tabulkách jsou jenom výsledky pro vybrané doby provozu, kde byly k dispozici výsledky všech výše použitých metod analýzy plynů. V některých případech lze sledovat údaje pro stejné doby provozu, ale v těchto případech se jedná o provedení více kontrolních měření v jednom roce.

Pro lepší názornost je ještě přidán obr. 2.51, který je vyjádřením četnosti poruch pro jednotlivé metody u transformátoru 3. Z obrázku vyplývá, že v tomto případě metoda Duvalova trojúhelníku signalizuje tepelnou poruchu do 300 °C, tepelnou poruchu 300–700 °C, tepelnou poruchu nad 700 °C a částečné výboje, a to v četnosti dle obrázku. Rozdílné výsledky je možné sledovat u Rogersovy metody 1, kde tato metoda signalizuje pouze vyšší než normální teplotu v izolaci. Podobné lze konstatovat u Rogersovy metody 2, která poukazuje také pouze na jiskření nebo hoření oblouku, případně na normální stav. Dörnenburgova metoda vykazuje opět rozdílné výsledky, signalizuje pouze normální stav.

Metoda podle normy IEC 60599 také znázorňuje pouze normální stav. Je však nutné podotknout, že výsledky mohou být v daných případech ovlivněny chybějícími daty, např. nebyla měřena koncentrace některých plynů potřebných pro používaný poměr.



Obr. 2.50 Metoda Duvalova trojúhelníku pro transformátor 8

Tab. 2.12 Výsledky metody Duvalova trojúhelníku pro transformátor 8

Výsledky metody Duvalova trojúhelníku pro transformátor 8												
Doba provozu [roky]	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Druh poruchy	2	0	0	2	2	0	0	0	0	3	0	0
Legenda poruch												
0	tepelná porucha nebo elektrický výboj											
1	tepelná porucha do 300 °C											
2	tepelná porucha nad 700 °C											
3	vysokoenergetický elektrický výboj - oblouk											
4	částečné výboje											

Na obr. 2.52 je vyjádření četnosti poruch pro jednotlivé metody u transformátoru 8. Závěry pro tento transformátor a i jednotlivé metody by byly podobné, přesný rozbor je patrný z obrázku.

Z provedeného rozboru je možné konstatovat, že metoda Duvalova trojúhelníku podrobněji rozebírá tepelné poruchy, na ostatní poukazuje v míře menší. Další používané metody zase spíše signalizují ostatní poruchy. Je tedy patrné, že obdržené závěry se liší. Výsledky četnosti poruch u ostatních transformátorů pro jednotlivé metody jsou postupně uvedeny na obr. 1.1, obr. 1.2, obr. 1.3, obr. 1.4, obr. 1.5 a obr. 1.6 (Příloha 1). I zde je možné sledovat, že závěry se liší.

To také zdůvodňuje skutečnost, že jednotlivá diagnostická pracoviště používají pouze některé metody a výsledky konfrontují se závěry z dalších na transformátoru provedených diagnostických šetření. Vychází ze zjištění, že se v transformátoru děje nějaká změna a tu se snaží na základě komplexního posouzení odhalit a popsat.

Tab. 2.13 Srovnání diagnostických metod u transformátoru 3

Srovnání diagnostických metod transformátoru 3					
Doba provozu [roky]	Metoda Duvalova trojuhelníku	Rogersova metoda (1)	Rogersova metoda (2)	Dörnenburgova metoda	Metoda podle IEC 60599
52	3	4	6	7	7
54	1	4	7	7	7
Legenda poruch					
0	tepelná porucha				
1	tepelná porucha nebo elektrický výboj				
2	tepelná porucha 300-700 °C				
3	tepelná porucha nad 700 °C				
4	vyšší než normální teplota v izolaci				
5	oblouk				
6	jiskření nebo hoření oblouku				
7	bezporuchový stav				
8	jádro a přehřátí				
9	přehřátí vodičů				

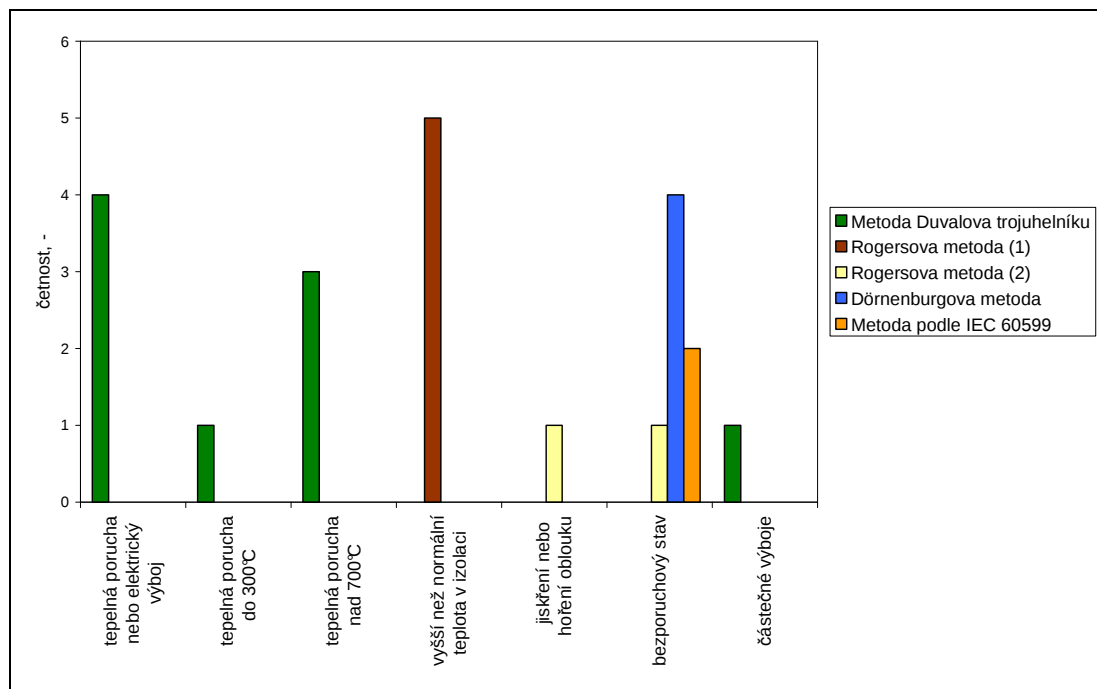
Tab. 2.14 Srovnání diagnostických metod u transformátoru 8

Srovnání diagnostických metod transformátoru 8					
Doba provozu [roky]	Metoda Duvalova trojuhelníku	Rogersova metoda (1)	Rogersova metoda (2)	Dörnenburgova metoda	Metoda podle IEC 60599
6	1	7	6	7	7
7	3	4	6	7	7
8	3	7	6	7	7
9	1	7	6	7	7
10	1	9	6	7	7
11	1	7	7	7	7
12	1	7	7	7	7
13	5	7	7	7	7
14	1	7	7	7	7
Legenda poruch					
0	tepelná porucha				
1	tepelná porucha nebo elektrický výboj				
2	tepelná porucha 300-700 °C				
3	tepelná porucha nad 700 °C				
4	vyšší než normální teplota v izolaci				
5	jiskření				
6	jiskření nebo hoření oblouku				
7	bezporuchový stav				
8	jádro a přehřátí				
9	přehřátí vodičů				

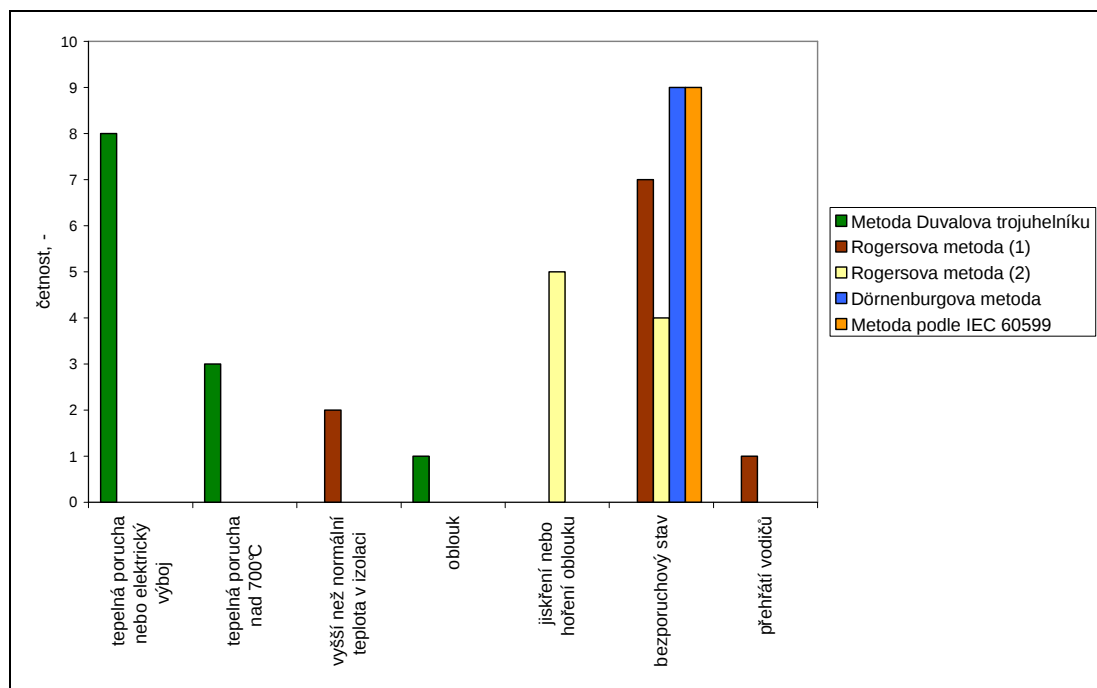
V praxi se ještě mohou používat tzv. pomocné poměry, které jsou uvedeny v normě IEC 60599. Jedná se především o poměry: CO_2/CO a O_2/N_2 . Výsledky pro transformátor 3 jsou uvedeny v tab. 2.15 a výsledky pro transformátor 8 v tab. 2.16. Jednotlivé pomocné poměry jsou vyčísleny pro vybrané doby provozu a je i popsána příslušná porucha. Označení poruch v legendě bylo použito originální a v některých případech se názvy liší a to dle toho, na jakou poruchu se v dané metodě klade důraz.

Srovnáme-li výsledky získané použitím pomocných poměrů s výsledky metod, lze konstatovat, že některé jsou podobné a některé se opět liší. Proto je třeba i v tomto případě konečné závěry formulovat uvážlivě a vždy v souvislosti ve srovnání se závěry z dalších na transformátoru provedených diagnostických šetření.

Pomocné poměry byly zjišťovány i pro ostatní transformátory. Závěry jsou podobné výsledkům u transformátoru 3 a 8, proto nejsou dále více rozebírány.



Obr. 2.51 Grafické vyjádření četnosti poruch pro jednotlivé metody u transformátoru 3



Obr. 2.52 Grafické vyjádření četnosti poruch pro jednotlivé metody u transformátoru 8

Dále byly sledovány koeficienty korelace jednotlivých plynů mezi sebou. V tab.2.17 jsou uvedeny výsledky korelace pro plyny, kde koeficient korelace byl $\geq 0,7$, a to alespoň u 6 transformátorů.

Tab. 2.15 Rozbor poruch transformátoru 3

Pomocné poměry pro transformátor 3		
Doba provozu [roky]	Pomocný poměr CO₂/CO	Pomocný poměr O₂/N₂
27	4	
31	4	1
30	3	0
33		0
38	3	0
40	3	1
42	4	1
43	4	0
Legenda poruch		
0	urychlené stárnutí	
1	bezporuchový stav	
2	uhelnatění celulózy	
3	bezporuchový stav	
4	vyšší než normální teplota v izolaci	

* Takto označené údaje platí pro poměr O₂/N₂, neoznačené údaje platí pro poměr CO₂/CO.

Tab. 2.16 Rozbor poruch transformátoru 8

Pomocné poměry pro transformátor 8		
Doba provozu [roky]	Pomocný poměr CO₂/CO	Pomocný poměr O₂/N₂
3	3	0
4	4	1
5	3	1
7	4	1
8	3	1
9	3	1
10	3	1
11	3	1
12	3	1
13	3	1
14	3	1
Legenda poruch		
0*	urychlené stárnutí	
1*	bezporuchový stav	
2	uhelnatění celulózy	
3	bezporuchový stav	
4	vyšší než normální teplota v izolaci	

* Takto označené údaje platí pro poměr O₂/N₂, neoznačené údaje platí pro poměr CO₂/CO.

Ze získaných výsledků vyplývá, že by v praxi **bylo možné uvažovat o měření jen některých plynů**, což by určitě přineslo i významný **ekonomický efekt**. Konkrétně

v daných případech by bylo možné měřit pouze $\sum C_xH_y$ nebo Q_p . Protože v předcházejících kapitolách byly studovány i soubory upravené, byly předmětem zájmu i koeficienty korelace těchto souborů. Lze však konstatovat, že se získané závěry statisticky příliš neliší. Není tedy významný rozdíl mezi soubory upravenými a původními.

Tab. 2.17 Koeficient korelace plynů pro jednotlivé transformátory

Plyn	Plyn	Koeficient korelace plynů Transformátor								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
CH ₄	$\sum C_xH_y$	0,999	0,559	0,858	0,939	0,897	0,505	0,517	0,786	0,924
C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	0,769			0,991	0,731	0,945	0,751	0,998	0,886
C ₂ H ₆	$\sum C_xH_y$	0,832		0,746	0,994	0,821	0,911	0,795	0,989	0,916
C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	0,899	0,913		0,855		0,901	0,975	0,973	0,613
C ₂ H ₄	$\sum C_xH_y$	0,991	0,659	0,677	0,97	0,723	0,992	0,539	0,99	0,987
C ₃ H ₈	$\sum C_xH_y$	0,924	0,808		0,955	0,5	0,873		0,961	0,555
$\sum C_xH_y$	H ₂	0,888		0,757		0,817	0,904	-0,69	0,91	0,67
O ₂	N ₂	0,815		0,527			0,853	0,971	0,989	0,873
N ₂	Q _p	0,99	0,882	0,607	0,997	0,978	0,778	0,998		0,975

2.2.4 Shrnutí výsledků

Nejdůležitější výsledky z kap.2.2 lze shrnout do následujících bodů:

- Pro jednotlivé plyny byly v souvislosti s rozбором vybraných vlastností časových řad získány **rovnice proložení přímkou, polynomem 2. a 3. stupně**. Kvalita proložení byla hodnocena **koeficientem korelace**. Tento byl v podstatné většině případů nejvyšší u proložení polynomem 3. stupně, a to u všech plynů. U některých plynů lze však sledovat skutečnost, že je také vhodné proložení i polynomem 2. stupně. Konkrétně se např. jedná o CO₂, a to pro transformátory 1, 2, 3, 4 nebo CO pro transformátory 4, 6, 7, 8.
- V souvislosti s rozбором vybraných vlastností časových řad byl proveden **rozbor trendů vývoje plynů**. Lze konstatovat v případě lineárního proložení, že např. u plynu CH₄ je u 2 transformátorů trend rostoucí (u 7 transformátorů klesající), u plynu C₂H₆ je u 4 transformátorů trend rostoucí (u 5 transformátorů klesající), u plynu C₂H₄ je u 5 transformátorů trend rostoucí (u 4 transformátorů klesající), u plynu C₂H₂ je u 8 transformátorů trend rostoucí (u 1 transformátoru klesající), u plynu C₃H₈ je u 8 transformátorů trend rostoucí (u 1 transformátoru klesající), u plynu $\sum C_xH_y$ je u 3 transformátorů trend rostoucí (u 6 transformátorů klesající), u plynu C₄H₁₀ nejsou k dispozici kompletní data, atd. Další podrobnosti jsou v tab. 2.3.
- Po **vyřazení extrémních hodnot** je také v souvislosti s rozбором vybraných vlastností časových řad pro všechny plyny nejvhodnější **proložení polynomem 3. stupně**, a to pro všechny sledované transformátory, kromě transformátoru 4, kde stačí proložení polynomem 2. stupně. U některých plynů lze však sledovat skutečnost, že je také vhodné proložení i polynomem 2. stupně. Konkrétně se např. jedná o Q_p, a to pro transformátory 1, 2, 4, 7. Pro ostatní plyny lze konstatovat v případě lineárního proložení, že vývoj plynů má ve čtyřech případech rostoucí

charakter, ve třech klesající a v šesti je polovina případů klesající a zbývající polovina rostoucí.

- Obecně lze konstatovat, že v souvislosti s rozбором vybraných vlastností časových řad **má vyřazení extrémních hodnot vliv na hodnocení výsledků**. Ovlivněny byly rovnice proložení grafů a jejich koeficienty korelace. Po vyřazení extrémních hodnot se zmenšila hodnota koeficientů korelace ve 14 případech a zvětšila v 11 případech. Toto se zvláště projevilo u transformátorů 1 a 8, kde bylo nejvíce extrémních hodnot. Rovněž výsledky rozboru trendů plynů byly ovlivněny. Obecně se průběh změnil u pěti plynů, opět se toto projevilo hlavně u transformátoru 1 a 8 (tři případy). Úpravou souborů vyřazením extrémních hodnot nemá vliv na skutečnost, že nejvhodnější proložení průběhů hodnot je polynomem 3. stupně.
- U vybraných transformátorů byly posuzovány výsledky průběhů plynů i z **hlediska chemických dějů**. Tento postup byl zvolen i na základě vyhodnocení trendů plynů pro jednotlivé transformátory, neboť **nebyla nalezena odpovídající a dostatečná souvislost** např. mezi dobou provozu transformátoru a plyny, které jsou projevem dějů v celulóze a oleji. Je rozebrána oxidace, polymerace a polykondenzace, a to v souvislosti se vznikem výsledných produktů při průběhu naznačených chemických reakcí. Dále byly analyzovány konkrétní plyny, a to z hlediska průběhů u jednotlivých transformátorů v návaznosti na možné probíhající chemické reakce. V textu jsou uvedeny jednotlivé výsledky, např. časová závislost průběhu CO_2 má u 7 transformátorů klesající a ve dvou rostoucí charakter. Konkrétně např. u transformátoru 5 roste nejen CO_2 , ale i CO , což ukazuje na oxidaci oleje. U transformátoru 6 CO_2 roste a O_2 klesá. Chování těchto plynů odpovídá chemická reakce popsaná rovnicí: $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$. Naznačeným způsobem jsou rozebrány i další případy.
- Pro jednotlivé plyny byly v souvislosti s rozбором **teplotní závislosti** plynů získány **rovnice proložení přímkou, polynomem 2. a 3. stupně**. Kvalita proložení byla hodnocena **koeficientem korelace**. Tento nejvyšší u proložení polynomem 3. stupně, a to u všech plynů. U některých plynů lze však sledovat skutečnost, že je také vhodné proložení i polynomem 2. stupně. Konkrétně se jedná např. o N_2 , a to pro transformátory 3, 5, 6, 7, 8.
- V souvislosti s rozбором **teplotní závislosti** plynů byl proveden **rozbor trendů vývoje plynů**. Tedy např. u plynu CH_4 je u 4 transformátorů trend rostoucí (u 2 transformátorů klesající), u plynu C_2H_6 je u 2 transformátorů trend rostoucí (u 4 transformátorů klesající), u plynu C_2H_4 je u 3 transformátorů trend rostoucí (u 3 transformátorů klesající), u plynu C_2H_2 je u 4 transformátorů trend rostoucí (u 3 transformátorů klesající), u plynu C_3H_8 je u 1 transformátoru trend rostoucí (u 5 transformátorů klesající), u plynu $\sum \text{C}_x\text{H}_y$ je u 2 transformátorů trend rostoucí (u 4 transformátorů klesající), u plynu C_4H_{10} je u 2 transformátorů trend rostoucí (u 4 transformátorů klesající), u plynu H_2 je u 2 transformátorů trend rostoucí (u 4 transformátorů klesající), u plynu O_2 je u 2 transformátorů trend rostoucí (u 4 transformátorů klesající), u plynu N_2 je u 4 transformátorů trend rostoucí (u 2 transformátorů klesající), atd. Podrobnosti jsou v tab. 2.8.
- Obecně lze konstatovat, že **vyřazení extrémních hodnot u rozboru trendů vývoje plynů má vliv na hodnocení výsledků**. Ovlivněny byly u upravených

souborů rovnice proložení grafů a jejich koeficienty korelace, podrobnosti ukazuje tab. 1.3 (Příloha 1), tab. 1.4 (Příloha 1) a tab. 2.6, tab. 2.7. Po vyřazení extrémních hodnot se zmenšila ve 9 případech hodnota koeficientů korelace a v 6 případech se tato hodnota zvětšila. Toto se zvláště projevilo u transformátoru 8. Rovněž výsledky rozboru trendů plynů byly ovlivněny. Obecně se průběh změnil u čtyř plynů, projevilo se to v největší míře u transformátoru 3. Úpravou souborů vyřazením extrémních hodnot nemá vliv na skutečnost, že nejvhodnější proložení průběhů hodnot je polynomem 3. stupně. Podrobnosti lze sledovat v tab. 2.8 a tab. 2.9. Získané výsledky jsou však logické, protože rozsahy sledovaných souborů jsou malé a každá změna může soubor značně ovlivnit.

- Z hlediska **vlivu teploty** na plyny je důležité zjištění, že plyny H_2 a CH_4 se v malém množství začínají tvořit při teplotě 150 °C, C_2H_6 vzniká již při teplotě 250 °C, C_2H_4 začíná vznikat při teplotě nad 350 °C, při teplotě 500–800 °C se objevuje uhlík (C). Ten vzniká při dohořívání oblouku a v okolí velmi teplých míst. Mezi teplotou 750–1200 °C dochází k nárůstu C_2H_2 , tato teplota je spojena s elektrickým obloukem.
- Podstatné je konstatování, že při analýze poruch se musí brát v úvahu také **rozpustnost plynů v oleji**, která je značně ovlivněna teplotou. Rozpustnost vodíku v oleji s teplotou stoupá až o 79%, kdežto u ethanu rozpustnost klesá až o 66%.
- Jsou uvedeny **výsledky vybraných metod poměrů plynů**. Jsou diskutovány tyto metody: metoda Duvalova trojúhelníku, Rogersova metoda (1), Rogersova metoda (2), Dörnenburgova metoda a metoda podle IEC 60599. Je možné konstatovat, že metoda Duvalova trojúhelníku podrobněji rozebírá tepelné poruchy, na ostatní poukazuje v míře menší. Další používané metody zase spíše signalizují ostatní poruchy. Je tedy patrné, že obdržené závěry se liší. To také zdůvodňuje skutečnost, že jednotlivá diagnostická pracoviště používají pouze některé metody a výsledky konfrontují se závěry z dalších na transformátoru provedených diagnostických šetření. Vychází se ze zjištění, že se v transformátoru děje nějaká změna, kterou je třeba na základě komplexního posouzení odhalit a popsat.
- Srovnáme-li **výsledky získané použitím pomocných poměrů s výsledky metod poměrů plynů**, lze konstatovat, že některé jsou podobné a některé se opět liší. Proto je třeba i v tomto případě konečné závěry formulovat uvážlivě a vždy v souvislosti se srovnáním se závěry z dalších na transformátoru provedených diagnostických šetření.
- V práci byly sledovány **koeficienty korelace jednotlivých plynů mezi sebou**. Ze získaných výsledků vyplývá, že by v praxi bylo možné uvažovat o **měření jen některých plynů**. Konkrétně v daných případech by bylo možné měřit pouze $\sum C_xH_y$ nebo Q_p . Protože v předcházejících kapitolách byly studovány i soubory upravené, byly předmětem zájmu i koeficienty korelace těchto souborů. Lze však konstatovat, že se získané závěry statisticky příliš neliší. Není tedy významný rozdíl mezi soubory upravenými a původními. Uvedená zjištění v tomto bodě jsou z hlediska průmyslové praxe značně významná.
- Je nutné konstatovat, že v práci **provedená analýza plynů** dokázala a potvrdila, že diagnostiku plynů je třeba **vyhodnocovat komplexně** (viz i závěry v této disertační práci) a také v **návaznosti** na další diagnostické metody (rozbor veličin stavu oleje,

rozbory veličin stavu izolace vodičů). Izolovaným posouzením analýzy plynů získáme jen dílčí výsledky, které mohou vést k nesprávným závěrům. Je však samozřejmé, že např. správně změřená extrémní hodnota určitého plynu může signalizovat nějaký vážný problém v transformátoru. Proto jsou stanoveny i **kritériální hodnoty** všech měřených a vyhodnocovaných plynů, jak lze sledovat např. v [19].

2.3 Vybrané ostatní výsledky

V této kapitole je pozornost soustředěna především na **veličiny stavu oleje**. Jsou rozebrány problémy **časové závislosti veličin** stavu oleje (kap.2.3.1), které jsou vyjmenovány v kap. 1.2.3. Dále je popsána **časová závislost čísla kyselosti** (kap.2.3.2), **závislost průrazného napětí** (kap.2.3.3) a **teplotní závislost obsahu vody rozpuštěné v oleji** (kap.2.3.4). **Veličiny stavu izolace vodičů**, které jsou vyjmenovány v kap. 1.2.4, jsou použity jen pro popis a rozbor **výsledků vybraných korelací** (kap.2.3.5). V kap. 2.3.6 je provedeno **shrnutí výsledků**.

2.3.1 Časová závislost veličin

V této části práce je pozornost soustředěna na **rozbory časové závislosti jednotlivých veličin**, časem je doba provozu transformátoru. Jedná se konkrétně o tyto veličiny: ztrátový činitel při 20 °C, 70 °C, 90 °C (tg_{20} , tg_{70} , tg_{90}), relativní mezipovrchové napětí na rozhraní olej-voda (σ), relativní permitivita při 20 °C, 70 °C, 90 °C (ϵ_{r20} , ϵ_{r70} , ϵ_{r90}), vnitřní rezistivita při laboratorní teplotě 20 °C, 70 °C, 90 °C (ρ_{20} , ρ_{70} , ρ_{90}), hustota (ρ_v). Do této kapitoly byly také zařazeny výsledky **hodnocení závislostí veličin stavu oleje mezi sebou**.

Časové závislosti byly graficky a početně zpracovány za účelem získání **rovnice proložení grafu a koeficientu korelace** proložení. Z grafických průběhů vyplynulo, že i v tomto případě sledovaný datový soubor obsahuje v některých případech „extrémní“ hodnoty, což bylo také dokázáno i na základě matematické statistiky, konkrétně pomocí krabicových grafů. V dalším postupu byly tyto hodnoty vyřazeny a datový soubor byl analyzován znovu předcházejícím způsobem. Takto naznačený postup byl zvolen opět z důvodu, že v průmyslové praxi se vychází při rozboru časových závislostí pouze z naměřených hodnot. Proto v této práci byl sledován vliv vyřazení extrémních hodnot na základě postupů matematické statistiky na výsledky a závěry.

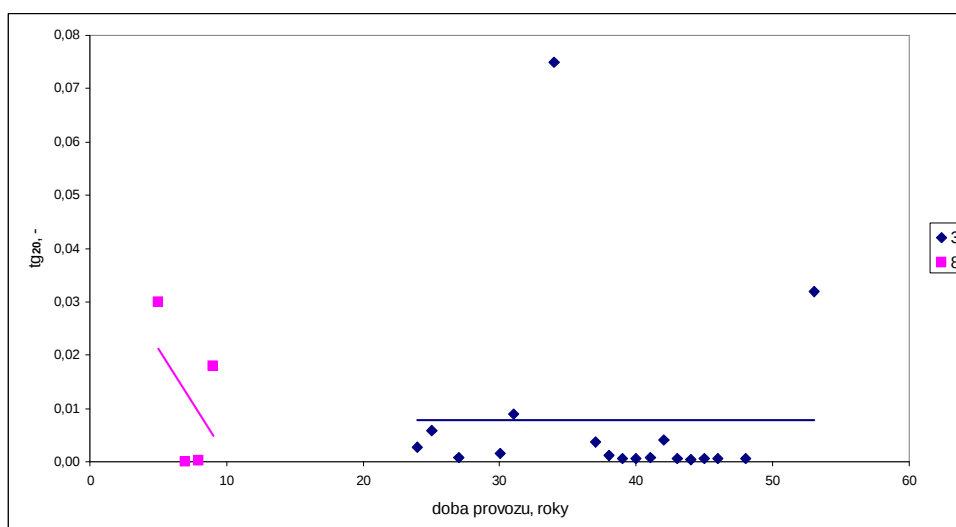
Grafické zpracování časových průběhů vybraných veličin v závislosti na době provozu je znázorněno pro transformátory 3 a 8 na obr. 2.53, obr. 2.54, obr. 2.55, obr. 2.56 a obr. 2.57.

Na obr. 2.53 je lineární proložení grafu časové závislosti tg_{20} u transformátoru 3 a 8. V tab. 2.1 (Příloha 2) je pro toto lineární proložení uvedena rovnice přímky ve tvaru $y = -3 \cdot 10^{-6}x + 0,0079$ pro transformátor 3 a ve tvaru $y = -0,0041x + 0,0417$ pro transformátor 8. Rovněž v 2.18 koeficient jsou uvedeny koeficienty korelace, pro transformátor 3 je jeho hodnota 0,0014 a pro transformátor 8 je jeho velikost vyšší, a to 0,4779.

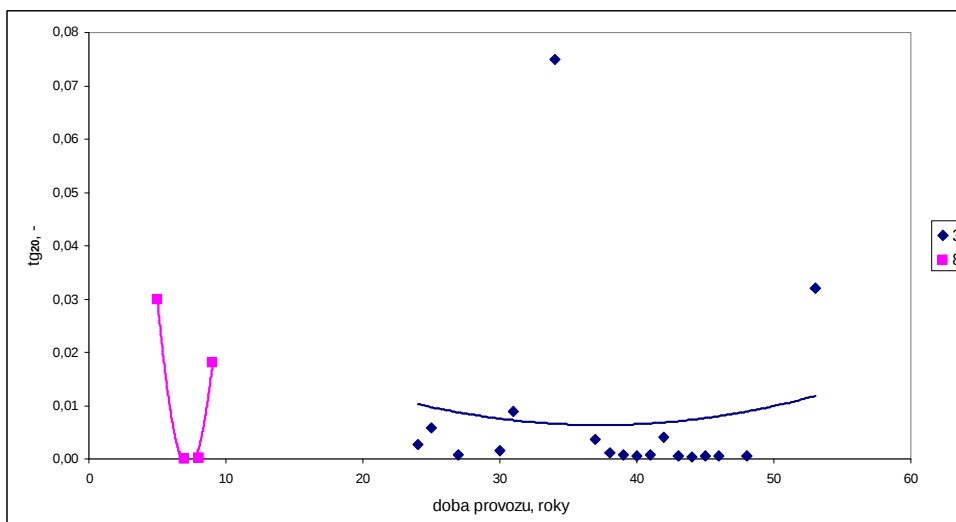
V případě ostatních transformátorů jsou podobné výsledky rovněž v tab. 2.1 (Příloha 2) a v tab. 2.18. Ve shodě s dřívějším hodnocením časových závislostí lze pro transformátory 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9 vyjádřit rovnici přímky lineárního proložení ve tvaru $y = ax - b$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0003; 0,0118 \rangle$, $b \in \langle -0,0014; 0,184 \rangle$ a pro transformátory 3, 8 ve tvaru $y = -ax + b$, kde opět a nabývá hodnot z intervalu $\langle -3 \cdot 10^{-6}; 0,0041 \rangle$, $b \in \langle 0,0079; 0,0417 \rangle$. Vypočítané koeficienty korelace jsou v tab. 2.18.

V případě ostatních transformátorů jsou podobné výsledky rovněž v tab. 2.1 (Příloha 2) a v tab. 2.18. Ve shodě s dřívějším hodnocením časových závislostí lze pro transformátory 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9 vyjádřit rovnici přímky lineárního proložení ve tvaru $y = ax - b$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,0003; 0,0118 \rangle$, $b \in \langle -0,0014; 0,184 \rangle$ a pro transformátory 3, 8 ve tvaru $y = -ax + b$, kde opět a nabývá hodnot z intervalu $\langle -3 \cdot 10^{-6}; 0,0041 \rangle$, $b \in \langle 0,0079; 0,0417 \rangle$. Vypočítané koeficienty korelace jsou v tab. 2.18.

Na obr. 2.54 je pro závislost tg_{20} u transformátoru 3 a 8 provedeno proložení polynomm 2. stupně. V tab. 2.1 (Příloha 2) je uvedena pro toto proložení rovnice polynomu ve tvaru $y = 0,00002x^2 - 0,0017x + 0,0372$ pro transformátor 3 a pro transformátor 8 ve tvaru $y = 0,0062x^2 - 0,0907x + 0,3274$. Koeficienty korelace lze najít opět v tab. 2.18, pro transformátor 3 je jeho hodnota 0,0840 a pro transformátor 8: 0,9965.



Obr. 2.53 Lineární proložení grafu časové závislosti tg_{20} u transformátoru 3 a 8



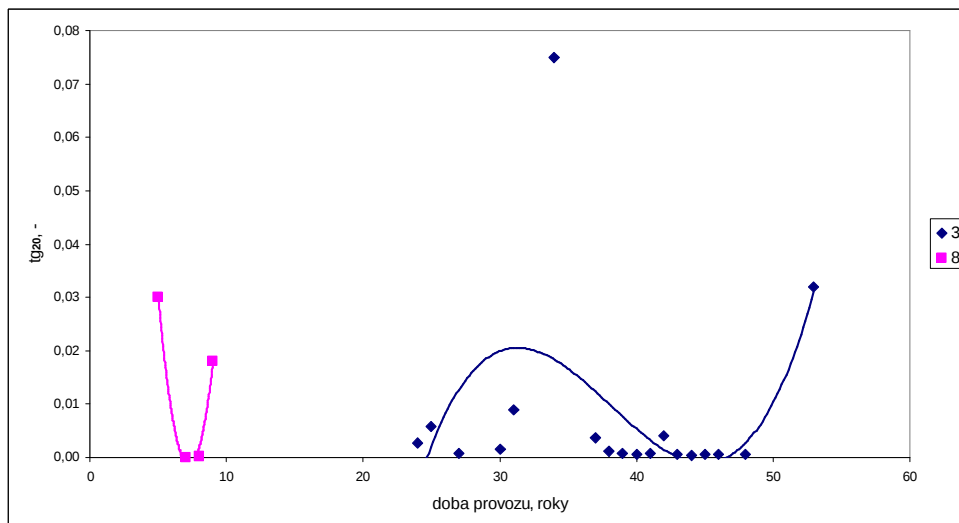
Obr. 2.54 Graf proložení polynomm 2. stupně časové závislosti tg_{20} u transformátoru 3 a 8

Rovnici proložení pro polynom 2. stupně lze opět vyjádřit obecně ve tvaru $y = ax^2 - bx + c$, kde a je z intervalu $\langle 1 \cdot 10^{-1}; 0,0062 \rangle$, b z intervalu $\langle 0,0014; 0,0907 \rangle$, c z intervalu $\langle 0,0004; 0,3892 \rangle$, a to pro transformátory 3, 4, 6, 7, 8. Pro transformátory 1, 2, 5, 9 je obecný tvar polynomu 2. stupně $y = -ax^2 + bx - c$, kde a neznámé v polynomu

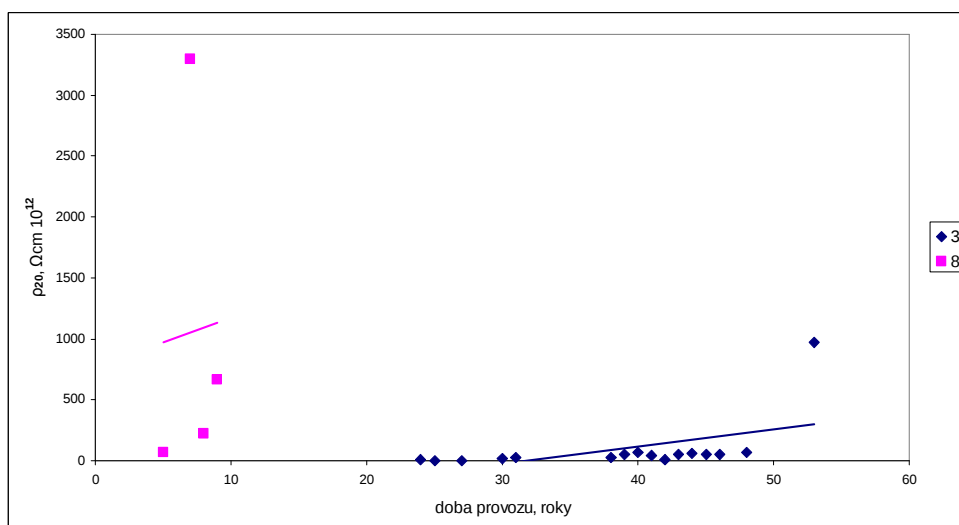
nabývají těchto hodnot: $a \in \langle 5 \cdot 10^{-5}; 0,0007 \rangle$, $b \in \langle 0,0037; 0,0192 \rangle$, $c \in \langle 0,0157; 0,0587 \rangle$. V tab. 2.18 jsou zjištěné koeficienty korelace.

Na obr. 2.55 je pro závislost tg_{20} u transformátoru 3 a 8 provedeno proložení polynomem 3. stupně. Pro transformátor 3 je tvar rovnice proložení $y = 2 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,002x^2 + 0,0725x - 0,8503$ a pro transformátor 8 je rovnice proložení stejná jako v předchozím případě, koeficienty korelace (tab. 2.18) jsou pro transformátor 3 0,5243 a 0,9965 pro transformátor 8. Pro ostatní transformátory je rovnice křivky uvedena v tab. 2.1 (Příloha 2). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí pro transformátory 3, 4, 5, 7 ve tvaru $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde koeficienty rovnice nabývají hodnot: $a \in \langle 2 \cdot 10^{-6}; 0,0002 \rangle$, $b \in \langle 0,0003; 0,0075 \rangle$, $c \in \langle 0,0338; 0,117 \rangle$, $d \in \langle 0,1558; 0,8503 \rangle$. Pro transformátory 1, 2, 9 je obecný tvar rovnice $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde opět koeficienty nabývají těchto hodnot: $a \in \langle 0,0002; 0,0007 \rangle$, $b \in \langle 0,0037; 0,016 \rangle$, $c \in \langle 0,018; 0,1176 \rangle$, $d \in \langle 0,0112; 0,2702 \rangle$.

Z výše uvedených výsledků podle očekávání vyplývá, že pro veličinu tg_{20} je nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně.



Obr. 2.55 Graf proložení polynomem 3. stupně časové závislosti tg_{20} u transformátoru 3 a 8

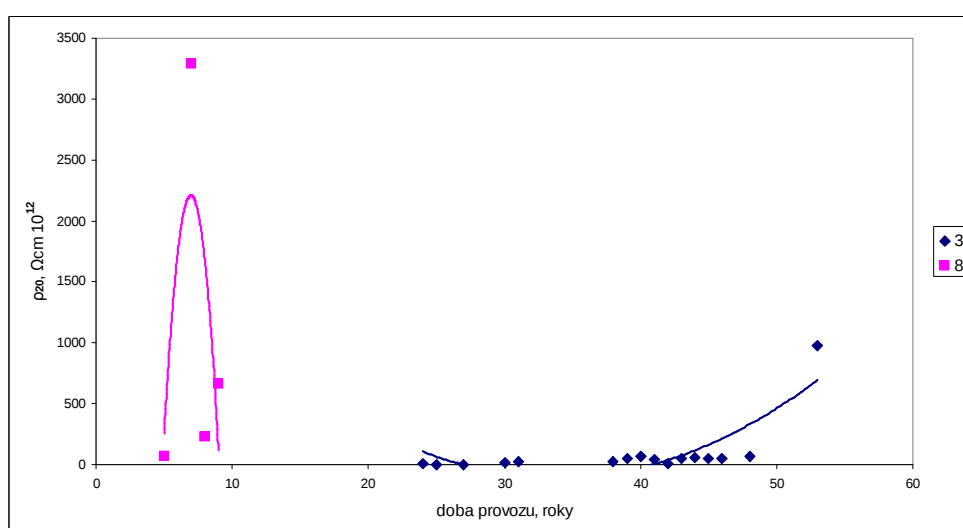


Obr. 2.56 Lineární proložení grafu časové závislosti ρ_{20} u transformátoru 3 a 8

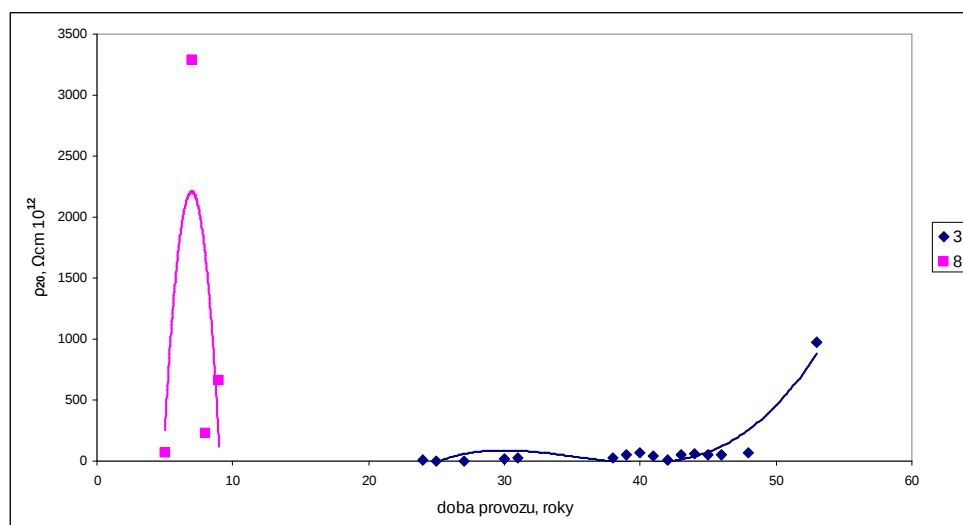
Na obr. 2.56 je časová závislost ρ_{20} proložena lineárně pro transformátor 3 a 8. V tab. 2.1 (Příloha 2) je pro tuto závislost uvedena rovnice přímky. Pro transformátor 3 má tato rovnice tvar $y = 14,029x - 446$ a pro transformátor 8 je její tvar $y = 39,023x + 779,13$. V tab. 2.18 jsou uvedeny koeficienty korelace, pro transformátor 3 má tento hodnotu 0,5158 a pro transformátor 8 je jeho velikost 0,0447.

Pro všechny transformátory je obecná tvar rovnice $y = ax - b$, kde koeficienty rovnice nabývají hodnot: $a \in \langle -9,0872; 1888,2 \rangle$ $b \in \langle 779,13; 11995 \rangle$. Hodnoty koeficientů korelace pro tyto případy jsou uvedeny v tab. 2.18.

Na obr. 2.57 je pro transformátory 3 a 8 časová závislost ρ_{20} proložena polynomem 2. stupně. V tab. 2.1 (Příloha 2) je pro tuto závislost uvedena rovnice proložené křivky. Pro transformátor 3 má tato rovnice tvar: $y = 2,1913x^2 - 148,57x + 2412,1$ a pro transformátor 8 tvar: $y = -505,92x^2 + 7049,7x - 22349$. Hodnota koeficientu korelace pro tuto závislost má pro transformátor 3 velikost 0,8338 a pro transformátor 8 velikost 0,6885. Ostatní hodnoty koeficientů korelace lze nalézt v tab. 2.18.



Obr. 2.57 Graf proložení polynomem 2. stupně časové závislosti ρ_{20} u transformátoru 3 a 8

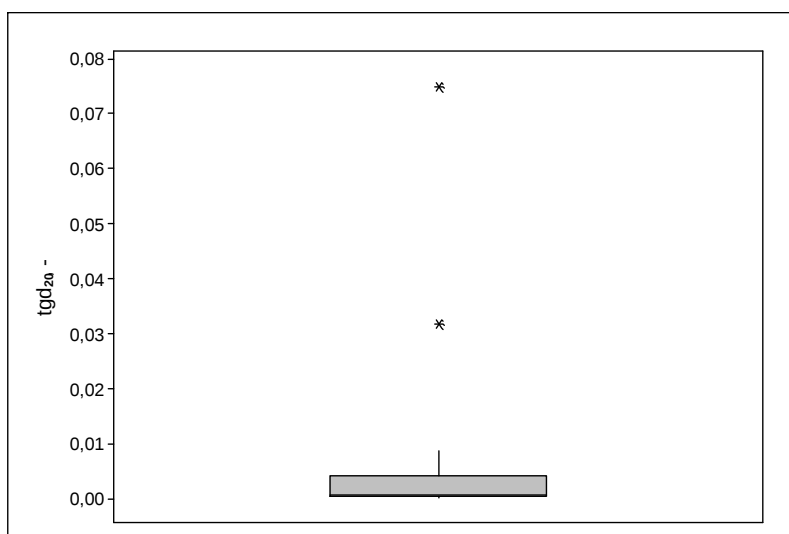


Obr. 2.58 Graf proložení polynomem 3. stupně časové závislosti ρ_{20} u transformátoru 3 a 8

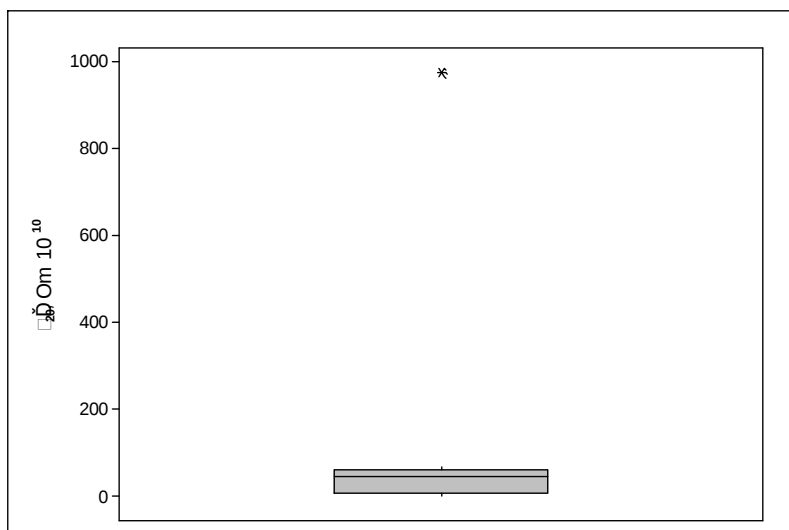
Pro ostatní transformátory (1,2,4,5,6,7,9) je rovnice křivky uvedena v tab. 2.1 (Příloha 2). Jejich tvar lze obecně popsat rovnicí $y = ax^2 - bx + c$, kde koeficienty nabývají hodnot:

$a \in \langle 2,1913; 778,14 \rangle$, $b \in \langle -14,724; 10562 \rangle$, $c \in \langle 226,47; 34693 \rangle$, a to pro transformátory pro 1, 3, 5, 6, 7, 9. V případě transformátorů 2, 4, 8 je obecný tvar rovnice $y = -ax^2 + bx - c$, kde koeficienty nabývají hodnot z těchto intervalů: $a \in \langle 0,1801; 505,92 \rangle$, $b \in \langle -5,8258; 7049,7 \rangle$, $c \in \langle -144,59; 22349 \rangle$. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.18.

Na obr. 2.58 je pro transformátory 3 a 8 časová závislost ρ_{20} proložena polynomem 3. stupně. Rovnice proložené křivky jsou uvedeny v tab. 2.1 (Příloha 2). Pro transformátor 3 je její tvar $y = 0,1947x^3 - 20,494x^2 + 703,91x - 7840$ a pro transformátor 8 má rovnice tvar stejný jako pro polynom 2.stupně $y = -505,92x^2 + 7049,7x - 22349$. V tab. 2.18 je jejich koeficient korelace, pro transformátor 3 je jeho velikost 0,9478 a pro transformátor 8 lze nalézt hodnotu 0,6885.



Obr. 2.59 Krabicový graf $\text{tg}\delta_{20}$ u transformátoru 3



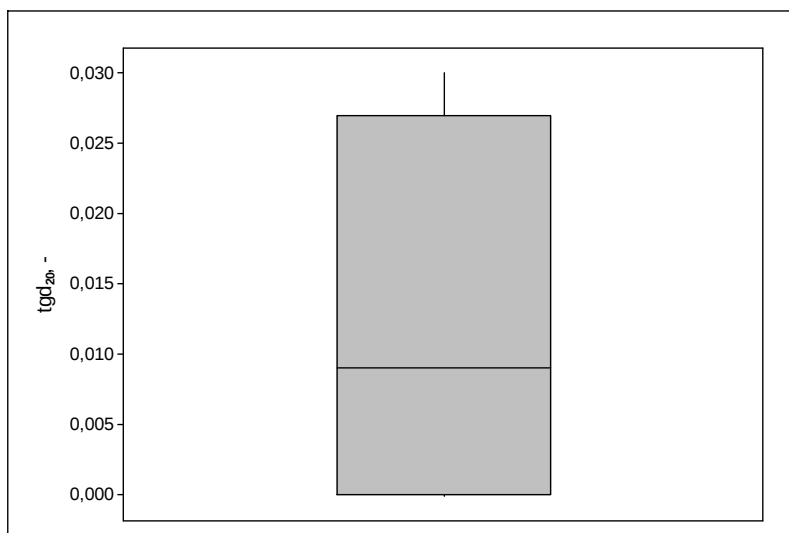
Obr. 2.60 Krabicový graf ρ_{20} u transformátoru 3

Pro ostatní transformátory (1, 2, 4, 5, 6, 7, 9) je rovnice křivky uvedena v tab. 2.1 (Příloha 2). Jejich obecný tvar lze vyjádřit pro transformátory 1, 2, 3, 5, 9 rovnicí $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde koeficienty nabývají hodnot z intervalu: $a \in \langle 0,1947; 209,81 \rangle$, $b \in \langle 5,6998; 4257,4 \rangle$, $c \in \langle 27,179; 28002 \rangle$, $d \in \langle -113,9; 58967 \rangle$. Pro další transformátory (4,7) je obecný tvar rovnice $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde koeficienty

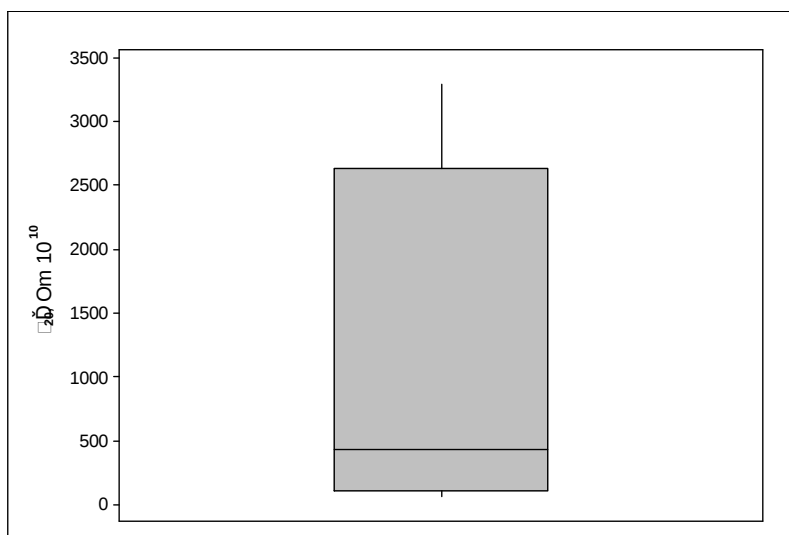
nabývají hodnot z intervalu: $a \in \langle 0,0139; 4,6827 \rangle$, $b \in \langle 1,251; 267,9 \rangle$, $c \in \langle 35,644; 4938,1 \rangle$, $d \in \langle 329,65; 29532 \rangle$. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro ostatní případy uvedeny v tab. 2.18.

Z uvedených případů vyplývá, že pro tento parametr je opět nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně.

V dalším textu jsou opět použity krabicové grafy, aby byly zjištěny podrobnější informace o sledovaných statistických souborech. Tyto krabicové grafy jsou na obr. 2.59, obr. 2.60, obr. 2.61 a obr. 2.62 pro veličinu pro transformátor 3 a 8. Pro ostatní veličiny a transformátory jsou výsledky uvedeny v tab. 2.10 (Příloha 2).



Obr. 2.61 Krabicový graf tg_{20} u transformátoru 8



Obr. 2.62 Krabicový graf ρ_{20} u transformátoru 8

Grafické znázornění časových průběhů veličin tg_{20} a ρ_{20} pro upravené soubory je na obr. 2.63, obr. 2.64, obr. 2.65, obr. 2.66, obr. 2.67 a obr. 2.68.

Na obr. 2.63 je lineární proložení grafu časové závislosti tg_{20} u transformátoru 3 a 8. V tab. 2.2 (Příloha 2) je pro toto lineární proložení uvedena rovnice přímky ve tvaru $y = -0,00016x + 0,008$ pro transformátor 3 a ve tvaru $y = -0,0041x + 0,0417$ pro

transformátor 8. Rovněž v tab. 2.19 jsou uvedeny koeficienty korelace, pro transformátor 3 je jeho hodnota 0,5065 a pro transformátor 8 je jeho velikost vyšší, a to 0,4779.

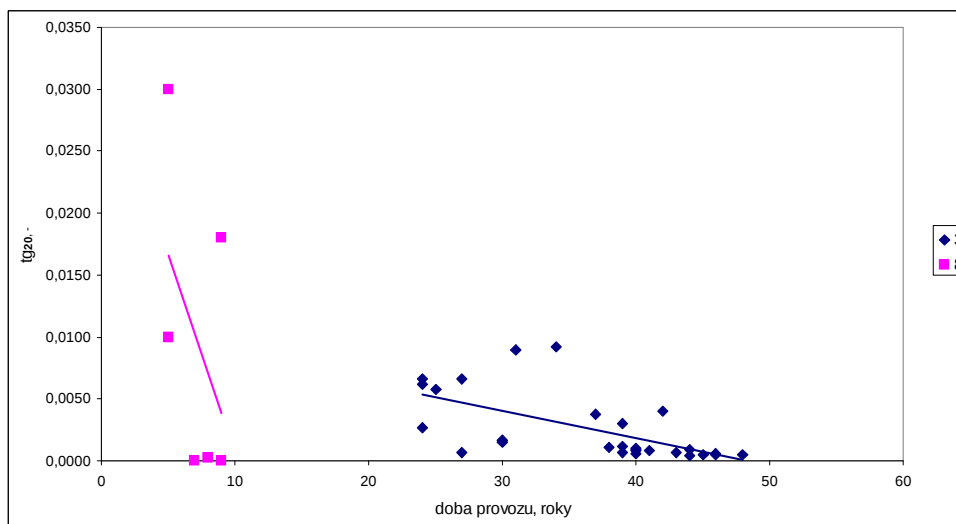
V případě ostatních transformátorů jsou podobné výsledky rovněž v tab. 2.2 (Příloha 2) a v tab. 2.19. Ve shodě s dřívějším hodnocením časových závislostí lze pro transformátory 1, 2, 4, 6, 7, 9 vyjádřit rovnici přímky lineárního proložení ve tvaru $y = ax - b$, kde a nabývá hodnot z intervalu $\langle 7 \cdot 10^{-5}; 0,0116 \rangle$, b z intervalu $\langle -0,0014; 0,184 \rangle$ a pro transformátory 3, 5, 8 ve tvaru $y = -ax + b$, kde opět a nabývá hodnot z intervalu $\langle 7 \cdot 10^{-5}; 0,0041 \rangle$, b z intervalu $\langle 0,0034; 0,0417 \rangle$. Vypočítané koeficienty korelace jsou v tab. 2.19.

Tab. 2.18 Koeficient korelace proložení časové závislosti ostatních veličin pro jednotlivé transformátory

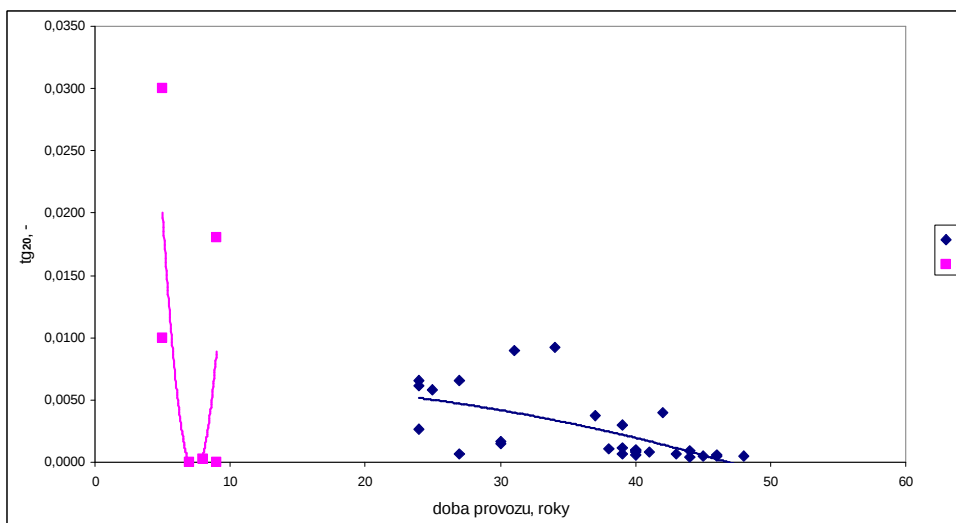
Veličiny stavu olej	Koeficient korelace proložení	Transformátor								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
tg_{20}	lineární	0,3736	0,2700	0,0014	0,1473	0,0735	0,9793	0,9457	0,4779	0,2653
	polynomem	2. stupně	0,3855	0,2737	0,0840	0,8037	0,1526	0,9999	0,9972	0,9965
		3. stupně	0,5618	0,3592	0,5243	0,9646	0,1581	1,0000		0,7271
tg_{70}	lineární	0,3736	0,3754	0,3655	0,1086	0,0922	0,9834	0,9551	0,3184	0,4030
	polynomem	2. stupně	0,4213	0,4653	0,7957	0,8554	0,1418	1,0000	0,9938	0,4948
		3. stupně	0,6133	0,4791	0,9297	0,9292	0,1530		0,9960	0,8602
tg_{90}	lineární	0,4155	0,3872	0,3682	0,0283	0,1068	0,9835	0,9546	0,3220	0,5555
	polynomem	2. stupně	0,4227	0,4762	0,7975	0,8557	0,1375	1,0000	1,0000	0,9598
		3. stupně	0,6111	0,4886	0,9339	0,9197	0,1530		0,9949	0,8697
σ	lineární	0,0849	0,7199	0,0583	0,8548	0,2944	0,3882	0,7984	0,0566	0,7500
	polynomem	2. stupně	0,2417	0,7199	0,4084	0,8608	0,3012	0,5316	0,8216	0,5134
		3. stupně	0,2441	0,7199	0,4391	0,9258	0,3300		0,8497	0,9985
ϵ_{r20}	lineární	0,2977	0,6100	0,8542	0,7033	0,6834	0,5368	0,9096	0,8321	0,2793
	polynomem	2. stupně	0,6869	0,6294	0,8894	0,9088	0,6836	0,9871	0,9745	0,9652
		3. stupně	0,8092	0,6294	0,9060	0,9736	0,7436		0,9880	0,9385
ϵ_{r70}	lineární	0,2520	0,3612	0,8546	0,6324	0,7814	0,0819	0,7023	0,9802	0,1179
	polynomem	2. stupně	0,6666	0,4508	0,8580	0,8518	0,7883	0,8713	0,7049	0,9828
		3. stupně	0,7990	0,4654	0,8634	0,9386	0,8076		0,9556	0,9905
ϵ_{r90}	lineární	0,2744	0,3612	0,8484	0,5864	0,7919	0,4559	0,7255	0,9806	0,0316
	polynomem	2. stupně	0,6827	0,4508	0,8492	0,8371	0,8123	0,9053	0,7276	0,9910
		3. stupně	0,7908	0,4654	0,8520	0,9276	0,8210		0,9601	0,9155
ρ_{20}	lineární	0,0300	0,8315	0,5158	0,2402	0,6165	0,9274	0,8289	0,0447	0,7479
	polynomem	2. stupně	0,5162	0,8352	0,8338	0,8939	0,9040	0,9363	0,8380	0,6885
		3. stupně	0,8399	0,9377	0,9478	0,9701	0,9596		0,9522	0,9990
ρ_{70}	lineární	0,0911	0,0387	0,5239	0,4373	0,6554	0,2579	0,8179	0,2435	0,6814
	polynomem	2. stupně	0,5889	0,4695	0,8064	0,9367	0,8872	0,2590	0,8452	0,2435
		3. stupně	0,6719	0,4695	0,9230	0,9403	0,9257		0,9623	0,9951
ρ_{90}	lineární	0,1709	0,2207	0,2610	0,5461	0,6327	0,9582	0,8607	0,9871	0,7249
	polynomem	2. stupně	0,9690	0,4175	0,5881	0,5727	0,8897	0,9927	0,9170	0,9996
		3. stupně	0,9865	0,4354	0,6845	0,6480	0,9371		0,9817	0,9971
ρ_v	lineární	0,6083	0,3432	0,7292	0,7894	0,3544	0,7060	0,9442	0,8919	0,8750
	polynomem	2. stupně	0,6934	0,5004	0,8098	0,8629	0,3581	0,8706	0,9567	0,9519
		3. stupně	0,9259	0,5754	0,8126	0,9332	0,3582		0,9912	0,9816

Na obr. 2.64 je pro závislost tg_{20} u transformátoru 3 a 8 provedeno proložení polynomem 2. stupně. V tab. 2.2 (Příloha 2) je uvedena pro toto proložení rovnice polynomu ve tvaru $y = -0,0000x^2 + 0,0003x + 0,0001$ pro transformátor 3 a pro transformátor 8 ve tvaru $y = 0,0062x^2 - 0,0907x + 0,3274$. Koeficienty korelace lze najít opět v tab. 2.19, pro transformátor 3 je jeho hodnota 0,5231 a pro transformátor 8: 0,9965.

Rovnici proložení pro polynom 2. stupně lze opět vyjádřit obecně ve tvaru $y = ax^2 - bx + c$, kde a je z intervalu $<7 \cdot 10^{-6}; 0,0062>$, b z intervalu $<-0,001; 0,0907>$, c z intervalu $<-0,004; 0,3892>$, a to pro transformátory 1, 2, 4, 6, 7, 8. Pro transformátory 3, 5, 9 je obecný tvar polynomu 2. stupně $y = -ax^2 + bx - c$, a je z intervalu $<9 \cdot 10^{-7}; 0,0007>$, b z intervalu $<-7 \cdot 10^{-6}; 0,0128>$, c z intervalu $<-0,046; 0,0024>$. V tab. 2.19 jsou zjištěné koeficienty korelace.



Obr. 2.63 Lineární proložení grafu časové závislosti tg_{20} u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory



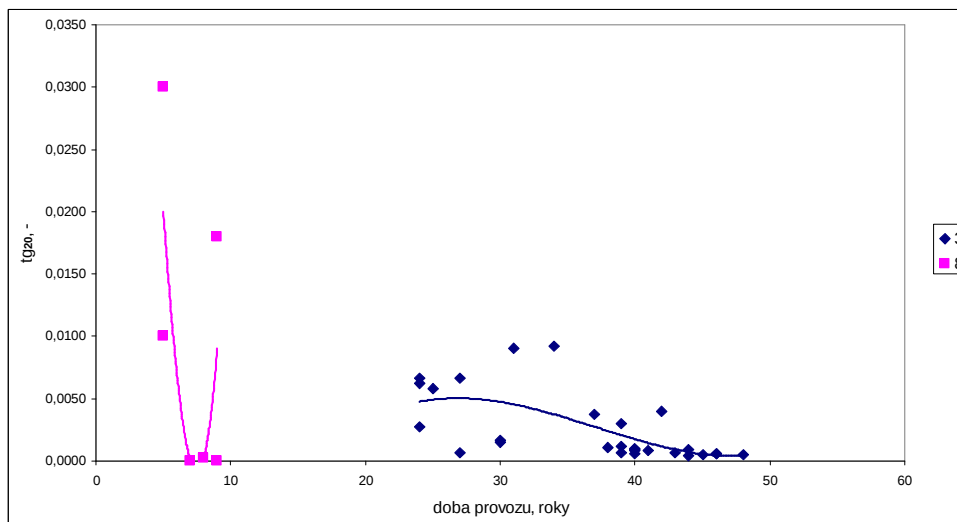
Obr. 2.64 Graf proložení polynomem 2. stupně časové závislosti tg_{20} u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

Na obr. 2.65 je pro závislost tg_{20} u transformátoru 3 a 8 provedeno proložení polynomem 3. stupně. Pro transformátor 3 je tvar rovnice proložení $y = 1 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0002x^2 + 0,0057x - 0,0612$ a pro transformátor 8 je rovnice proložení stejná jako pro polynom 2. stupně. Koeficienty korelace jsou pro transformátor 3 0,5525 a 0,9965 pro transformátor 8. Pro ostatní transformátory je rovnice křivky uvedena v tab. 2.2 (Příloha 2). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí pro transformátory 2, 3, 4, 7 ve tvaru $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde koeficienty rovnice nabývají hodnot: $a \in <6 \cdot 10^{-7}; 0,0002>$, $b \in <6 \cdot 10^{-6}; 0,0075>$, $c \in <3 \cdot 10^{-5}; 0,117>$, $d \in <-0,0001; 0,3036>$. Pro transformátory 1, 5, 9 je obecný tvar rovnice $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde opět koeficienty nabývají těchto

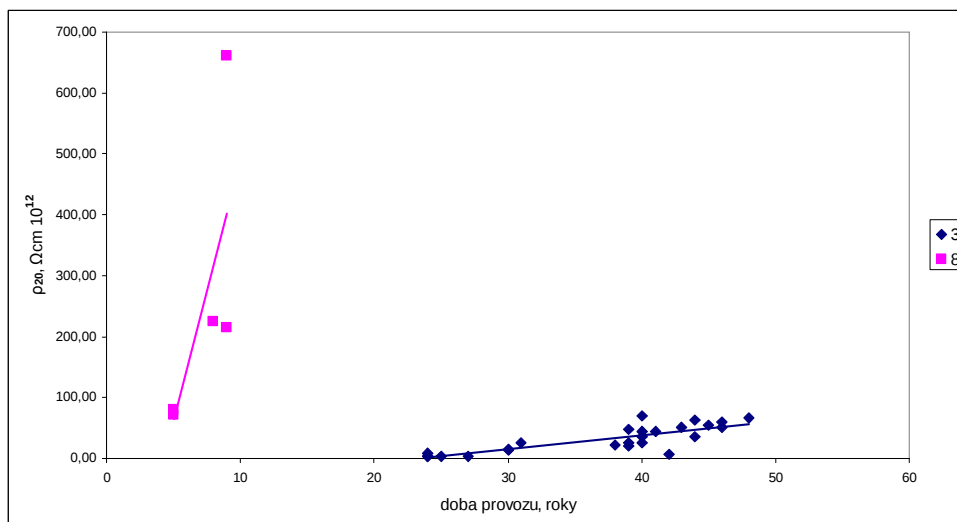
hodnot: $a \in \langle 6 \cdot 10^{-5}; 0,0007 \rangle$, $b \in \langle 7 \cdot 10^{-5}; 0,016 \rangle$, $c \in \langle 0,0022; 0,1176 \rangle$, $d \in \langle 0,006; 0,2702 \rangle$.

Z výše uvedených výsledků podle očekávání vyplývá, že pro veličinu tg_{20} je nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně.

Na obr. 2.66 je časová závislost ρ_{20} proložena lineárně pro transformátor 3 a 8. V tab. 2.2 (Příloha 2) je pro tuto závislost uvedena rovnice přímky. Pro transformátor 3 má tato rovnice tvar $y = 2,4219x - 55,379$ a pro transformátor 8 je její tvar $y = 39,023x + 779,13$. V tab. 2.19 jsou uvedeny koeficienty korelace, pro transformátor 3 má tento hodnotu 0,7994 a pro transformátor 8 je jeho velikost 0,0447.

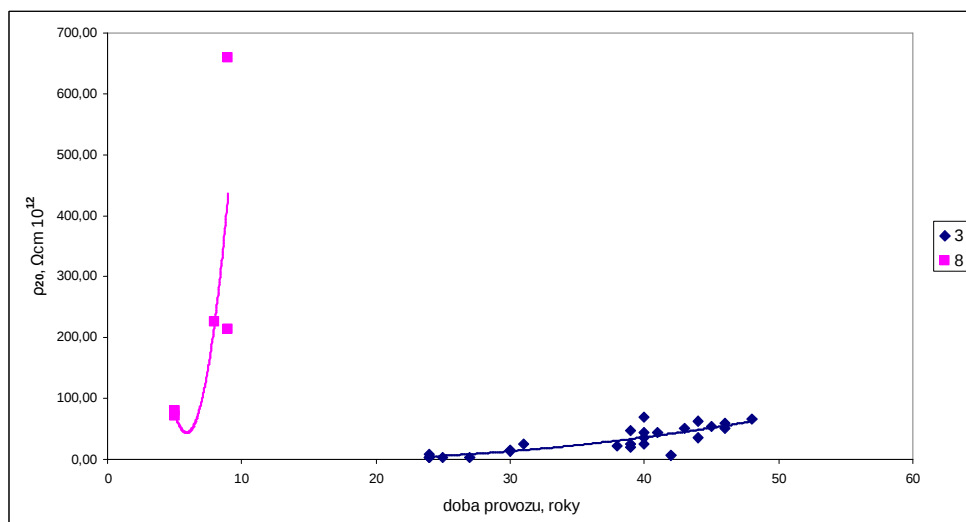


Obr. 2.65 Graf proložení polynomem 3. stupně časové závislosti tg_{20} u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory



Obr. 2.66 Lineární proložení grafu časové závislosti ρ_{20} u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

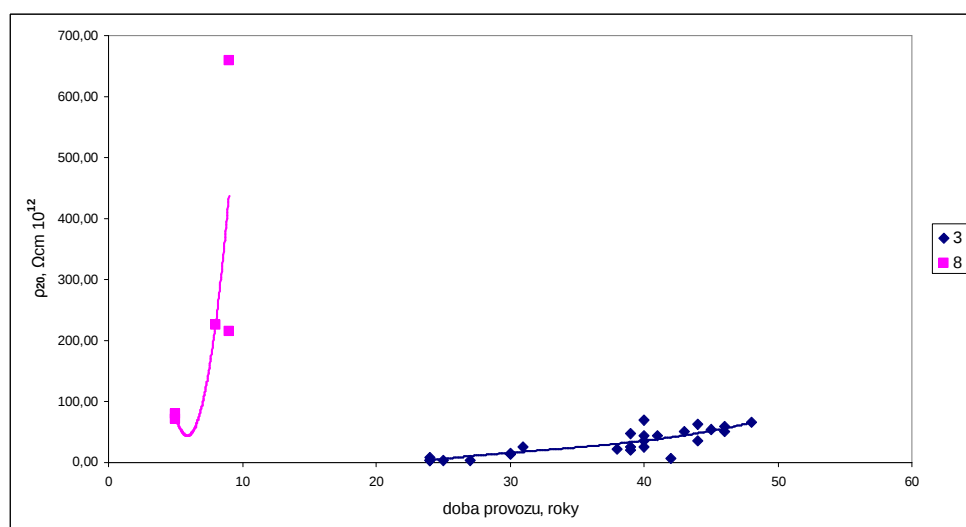
Pro ostatní transformátory (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) je obecná tvar rovnice $y = ax + b$, kde koeficienty rovnice nabývají hodnot: $a \in \langle 0,2431; 1888,2 \rangle$ $b \in \langle -779,13; 11995 \rangle$. Pro zbývající transformátory 1 a 2 má rovnice tvar: $y = -ax + b$, kde koeficienty nabývají hodnot $a \in \langle 5,9042; 9,0872 \rangle$, $b \in \langle 106,74; 153,7 \rangle$. Hodnoty koeficientů korelace pro tyto případy jsou uvedeny v tab. 2.19.



Obr. 2.67 Graf proložení polynomem 2. stupně časové závislosti ρ_{20} u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

Na obr. 2.67 je pro transformátory 3 a 8 časová závislost ρ_{20} proložena polynomem 2. stupně. V tab. 2.2 (Příloha 2) je pro tuto závislost uvedena rovnice proložené křivky. Pro transformátor 3 má tato rovnice tvar: $y = 0,0158x^2 + 1,2988x - 36,426$ a pro transformátor 8 tvar: $y = -505,92x^2 + 7049,7x - 22349$. Hodnota koeficientu korelace pro tuto závislost má pro transformátor 3 velikost 0,8000 a pro transformátor 8 velikost 0,6885. Ostatní hodnoty koeficientů korelace lze nalézt v tab. 2.19.

Pro ostatní transformátory (1, 3, 5, 6, 7, 9) je rovnice křivky uvedena v tab. 2.2 (Příloha 2). Jejich tvar lze obecně popsat rovnicí $y = ax^2 - bx + c$, kde koeficienty nabývají hodnot: $a \in \langle 0,0158; 778,14 \rangle$, $b \in \langle -14,724; 10562 \rangle$, $c \in \langle -36,426; 34693 \rangle$, a to pro transformátory pro 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9. V případě transformátorů 2, 4, 8 je obecný tvar rovnice $y = -ax^2 + bx + c$, kde koeficienty nabývají hodnot z těchto intervalů: $a \in \langle 0,1801; 505,92 \rangle$, $b \in \langle -5,8258; 7049,7 \rangle$, $c \in \langle -144,59; 22349 \rangle$. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.19.



Obr. 2.68 Graf proložení polynomem 3. stupně časové závislosti ρ_{20} u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

Na obr. 2.68 je pro transformátory 3 a 8 časová závislost ρ_{20} proložena polynomem 3. stupně. Rovnice proložené křivky jsou uvedeny v tab. 2.2 (Příloha 2). Pro transformátor 3 je její tvar $y = 0,0009x^3 - 0,0844x^2 + 4,8458x - 77,029$ a pro transformátor 8 má rovnice stejný tvar jako u proložení 2. stupně. V tab. 2.19 je jejich koeficient korelace, pro transformátor 3 je jeho velikost 0,8001 a pro transformátor 8 stejná hodnoty jako v předchozím případě.

Pro ostatní transformátory (1, 2, 4, 5, 6, 7, 9) je rovnice křivky uvedena v tab. 2.2 (Příloha 2). Jejich obecný tvar lze vyjádřit pro transformátory 1, 2, 3, 5, 9 rovnicí $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde koeficienty nabývají hodnot z intervalu: $a \in <0,0009; 209,81>$, $b \in <0,0844; 4257,42>$, $c \in <4,8458; 18002>$, $d \in <-112,79; 58967>$. Pro další transformátory (4, 7) je obecný tvar rovnice $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde koeficienty nabývají hodnot z intervalu: $a \in <0,0139; 4,6827>$, $b \in <1,251; 267,9>$, $c \in <35,644; 4938,1>$, $d \in <329,65; 29532>$. Hodnoty koeficientů korelace jsou pro ostatní případy uvedeny v tab. 2.19.

Tab. 2. 19 Koeficient korelace proložení časové závislosti ostatních veličin pro jednotlivé transformátory pro upravené soubory

Veličiny stavu olej	Koeficient korelace proložení	Transformátor								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
tg_{20}	lineární	0,4831	0,8688	0,5065	0,1473	0,6135	0,9793	0,9457	0,4779	0,2653
	polynomem	2. stupně	0,4869	0,9657	0,5231	0,8037	0,6160	0,9999	0,9972	0,9965
		3. stupně	0,5925	0,9755	0,5525	0,9646	0,6510	1,0000		0,7271
tg_{70}	lineární	0,4089	0,6220	0,5381	0,1086	0,6297	0,9834	0,9551	0,3184	0,4030
	polynomem	2. stupně	0,4241	0,6851	0,5540	0,8554	0,6299	1,0000	0,9938	0,4948
		3. stupně	0,4780	0,6856	0,5938	0,9292	0,6440	0,9960		0,8602
tg_{90}	lineární	0,4180	0,6084	0,7288	0,0283	0,6473	0,9835	0,9546	0,3220	0,5555
	polynomem	2. stupně	0,4353	0,6548	0,7535	0,8557	0,6475	1,0000	1,0000	0,9598
		3. stupně	0,4830	0,6622	0,7794	0,9197	0,6643	0,9949		0,8697
σ	lineární	0,5119	0,7199	0,0490	0,8548	0,2944	0,3882	0,7984	0,0566	0,7500
	polynomem	2. stupně	0,5370	0,8897	0,3639	0,8608	0,3012	0,5316	0,8216	0,5134
		3. stupně	0,5383	0,9219	0,4390	0,9258	0,3300	0,8497		0,9985
ϵ_{r20}	lineární	0,1664	0,5442	0,8542	0,7756	0,6834	0,5368	0,9096	0,8321	0,2793
	polynomem	2. stupně	0,5042	0,7264	0,8894	0,7865	0,6836	0,9871	0,9745	0,9652
		3. stupně	0,5333	0,7367	0,9060	0,8293	0,7436	0,9880		0,9385
ϵ_{r70}	lineární	0,2427	0,5711	0,8546	0,4223	0,7814	0,0819	0,7023	0,9802	0,1179
	polynomem	2. stupně	0,5012	0,7714	0,8580	0,4553	0,7883	0,8713	0,7049	0,9828
		3. stupně	0,5357	0,7773	0,8634	0,8958	0,8076	0,9556		0,9905
ϵ_{r90}	lineární	0,1735	0,6079	0,8484	0,1957	0,7919	0,4559	0,7255	0,9806	0,0316
	polynomem	2. stupně	0,4976	0,8080	0,8492	0,2506	0,8123	0,9053	0,7276	0,9910
		3. stupně	0,5137	0,8212	0,8520	0,9240	0,8210	0,9601		0,9155
ρ_{20}	lineární	0,8353	0,8315	0,7994	0,2402	0,7260	0,9274	0,8289	0,0447	0,7479
	polynomem	2. stupně	0,8597	0,8352	0,8000	0,8939	0,8624	0,9363	0,8380	0,6885
		3. stupně	0,9209	0,9377	0,8001	0,9701	0,8722	0,9522		0,9990
ρ_{70}	lineární	0,0911	0,7438	0,8625	0,4373	0,5306	0,2579	0,8179	0,2435	0,6814
	polynomem	2. stupně	0,5889	0,7700	0,8775	0,9367	0,5347	0,2590	0,8452	0,2435
		3. stupně	0,6719	0,7819	0,8842	0,9403	0,6243	0,9623		0,9951
ρ_{90}	lineární	0,1709	0,8550	0,7141	0,5461	0,5651	0,9582	0,8607	0,9871	0,7249
	polynomem	2. stupně	0,9690	0,9008	0,7215	0,5727	0,5727	0,9927	0,9170	0,9996
		3. stupně	0,9865	0,9094	0,7325	0,6480	0,6480	0,9817		0,9971
ρ_v	lineární	0,5353	0,3432	0,7292	0,6907	0,7830	0,7060	0,9442	0,8919	0,8750
	polynomem	2. stupně	0,5354	0,5004	0,8098	0,7136	0,7831	0,8706	0,9567	0,9519
		3. stupně	0,8429	0,5754	0,8126	0,7254	0,8237	0,9912		0,9816

Z uvedených případů vyplývá, že pro tuto veličinu je opět nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně.

Nakonec této kapitoly je provedeno srovnání výsledků a závěrů pro soubory naměřených dat a upravené soubory dat.

Obecně lze konstatovat, že vyřazení extrémních hodnot má vliv na hodnocení výsledků. Úpravou souborů vyřazením extrémních hodnot nemá vliv na skutečnost, že nejvhodnější proložení průběhů hodnot je polynomem 3. stupně. V některých případech bude stačit proložení polynomem 2. stupně jak lze sledovat např. u transformátoru 6. Ovlivněny však byly rovnice proložení grafů a jejich koeficienty korelace, podrobnosti ukazuje tab. 2.1 (Příloha 2), tab. 2.2 (Příloha 2), a tab. 2.18, tab. 2.19. Po vyřazení extrémních hodnot se zmenšila v 18 případech hodnota koeficientů korelace a v 18 případech se tato hodnota zvětšila. Toto se zvláště projevilo u transformátoru 2 (u 9 případů zvětšení) a u transformátoru 1 (u 3 případů zvětšení a u 6 pokles).

Získané výsledky jsou však i v tomto případě logické, protože rozsahy sledovaných souborů jsou malé a každá změna může soubor i podstatně ovlivnit.

V tab. 2.18 jsou vypočítány hodnoty koeficientů korelace **závislosti veličin stavu oleje** pro jednotlivé transformátory, v tab. 2.19 stejná závislost pro soubory upravené.

Z tab. 2.20 vyplývá, že některé veličiny na sobě **závisí**. Lze sledovat např. závislost ε_{r20} na ρ_v , což může být považováno za významné. Při rozboru výsledků je možné také sledovat, že na sobě závisí **stejně veličiny při různých teplotách**. Tento fakt se dá očekávat a získané výsledky ho jenom potvrzují. Z praktického hlediska uvedené a potvrzené zjištění má značný význam, neboť umožňuje měřit **méně veličin**.

Tab. 2.20 Koeficient korelace závislosti veličin stavu oleje pro jednotlivé transformátory

Veličiny stavu olej	Veličiny stavu olej	Koeficient korelace veličin Transformátor								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
tg₂₀	tg₇₀	0,926			0,938	0,999	1,000	0,985	0,672	0,942
tg₂₀	tg₉₀	0,914			0,923	0,998	1,000	0,982	0,660	0,884
tg₇₀	tg₉₀	0,999	1,000	0,999	0,996	1,000	1,000	1,000	0,998	0,978
tg₇₀	ρ₂₀		0,982	0,943	-0,701		0,989	0,949		
ε_{r20}	ε_{r70}	0,986	0,733	0,952	0,979	0,938		0,800	0,829	0,936
ε_{r20}	ε_{r90}	0,988	0,732	0,925	0,965	0,912		0,815	0,781	0,949
ε_{r20}	ρ_v	0,790	-0,711	0,900	0,939		0,722	0,935	0,985	
ε_{r70}	ε_{r90}	0,994	1,000	0,976	0,997	0,993		0,999	0,996	0,912
ε_{r70}	ρ_v	0,772		0,876	0,881			0,808	0,907	
ε_{r90}	ρ_v	0,772		0,847	0,863			0,825	0,868	
ρ₂₀	ρ₇₀	0,838		0,992	0,872	0,983	0,582	0,995	0,691	0,994
ρ₂₀	ρ₉₀	0,945		0,981	0,918	0,994	0,964	0,968		0,997
ρ₇₀	ρ₉₀	0,832	0,946	0,997	0,934	0,996		0,984		0,995

V případě **souborů upravených** byly získány podobné výsledky (tab. 2.21). Z praktického hlediska je opět významné zjištění, že opět závisí veličina ε_{r20} na ρ_v , rovněž na sobě závisí **stejně veličiny při různých teplotách**.

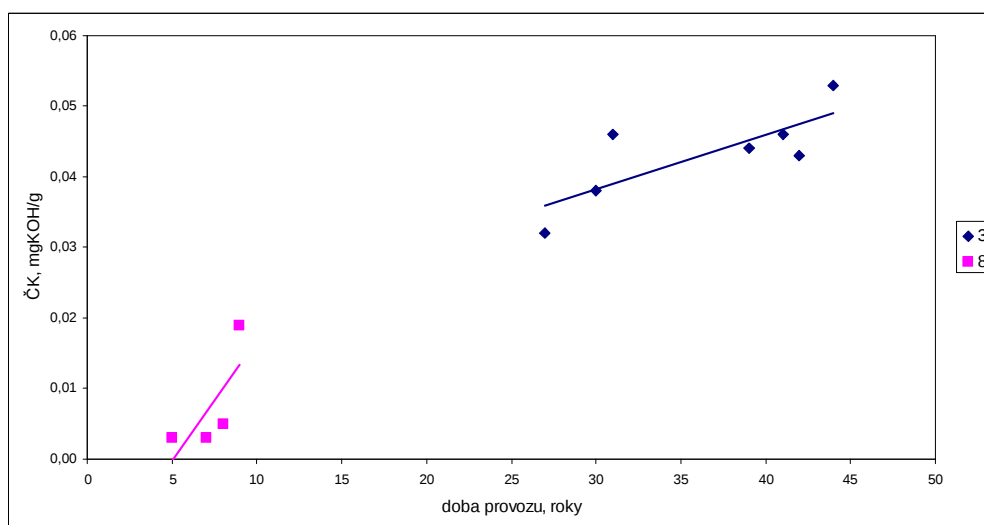
2.3.2 Časová závislost čísla kyselosti

V této části práce je pozornost soustředěna na **časovou závislost čísla kyselosti (ČK)**. Opět je získána **rovnice proložení grafu** a **koeficient korelace** proložení. Dále je také sledován datový soubor **upravený**, tedy bez extrémních hodnot.

Grafické zpracování časových průběhů lze sledovat na obr. 2.69, obr. 2.70 a obr. 2.71.

Tab. 2.21 Koeficient korelace závislosti veličin stavu oleje pro jednotlivé transformátory pro upravené soubory

Veličiny stavu olej	Veličiny stavu olej	Koeficient korelace veličin Transformátor								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
tg₂₀	tg₇₀	0,988	0,841		0,938	0,977	1,000	0,985	0,672	0,942
tg₂₀	tg₉₀	0,991	0,832		0,923	0,966	1,000	0,982	0,660	0,884
tg₇₀	tg₉₀	1,000	0,984	0,900	0,996	0,997	1,000	1,000	0,998	0,978
tg₇₀	ε_{r20}	-0,511		0,552	0,846	0,866	-0,678	-0,988	0,774	0,969
tg₉₀	ε_{r20}	-0,512		0,759	0,846	0,872	-0,678	-0,989	0,784	0,920
ε_{r20}	ε_{r70}	0,943	0,887	0,952	0,638	0,938		0,800	0,829	0,936
ε_{r20}	ε_{r90}	0,957	0,865	0,925		0,912		0,815	0,781	0,949
ε_{r20}	ρ₉₀		-0,860	-0,730	-0,752	-0,853	-0,710	-0,979	-0,751	
ε_{r20}	ρ_v		-0,646	0,900	0,860	0,803	0,722	0,935	0,985	
ε_{r70}	ε_{r90}	0,979	0,976	0,976	0,943	0,993		0,999	0,996	0,912
ρ₂₀	ρ₇₀		0,824	0,910	0,872	0,733	0,582	0,995	0,691	0,994
ρ₂₀	ρ₉₀	0,780	0,888	0,818	0,918	0,754	0,964	0,968		0,997
ρ₇₀	ρ₉₀	0,832	0,738	0,953	0,934	0,991		0,984		0,995
ρ₇₀	ρ_v	0,569		-0,778	-0,755	-0,747	-0,670	-0,890		-0,846
ρ₉₀	ρ_v	0,566		-0,675	-0,610	-0,761	-0,868	-0,928	-0,836	-0,855



Obr. 2.69 Lineární proložení grafu časové závislosti ČK u transformátoru 3 a 8

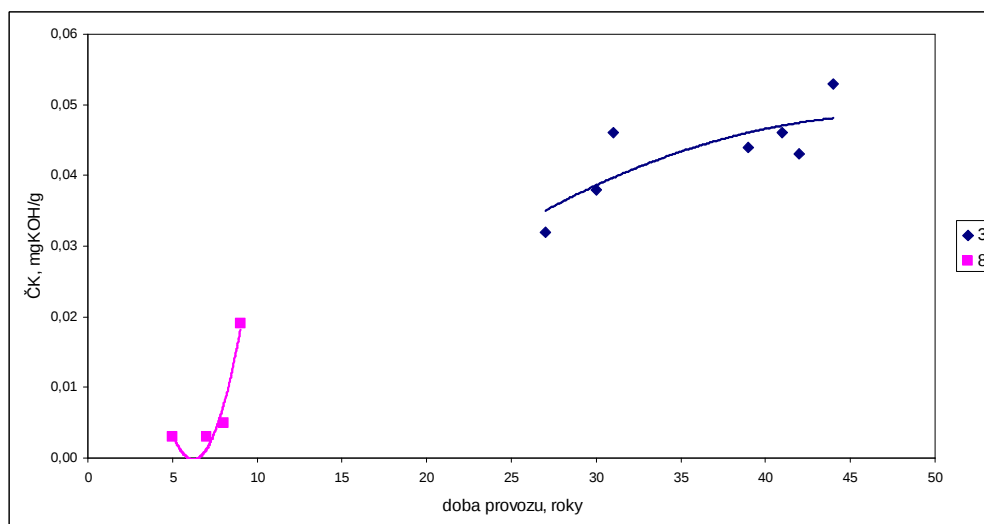
Na obr. 2.69 je grafická závislost ČK proložena lineárně, a to pro transformátory 3 a 8. Rovnice proložení je v tomto případě pro transformátor 3: $y = 0,0008x + 0,0153$ a pro transformátor 8: $y = 0,0034x - 0,016$. Koeficienty korelace jsou uvedeny v tab. 2.22. Jejich hodnota je pro transformátor 3 rovna 0,7838 a pro transformátor 8 rovna hodnotě 0,7454. Pro ostatní transformátory (1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9) je rovnice přímky uvedena v tab. 2.3 (Příloha 2). Jejich tvar lze obecně vyjádřit rovnicí: $y = ax + b$, kde koeficienty nabývají hodnot: $a \in <0,0002; 0,0037>$, $b \in <-0,0478; 0,0153>$, pro transformátory 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Hodnoty koeficientů korelace jsou uvedeny v tab. 2.22.

Na obr. 2.70 je grafická závislost ČK pro případ proložení polynome 2. stupně, a to opět pro transformátory 3 a 8. Rovnice proložení je pro transformátor 3 vyjádřena tvarem:

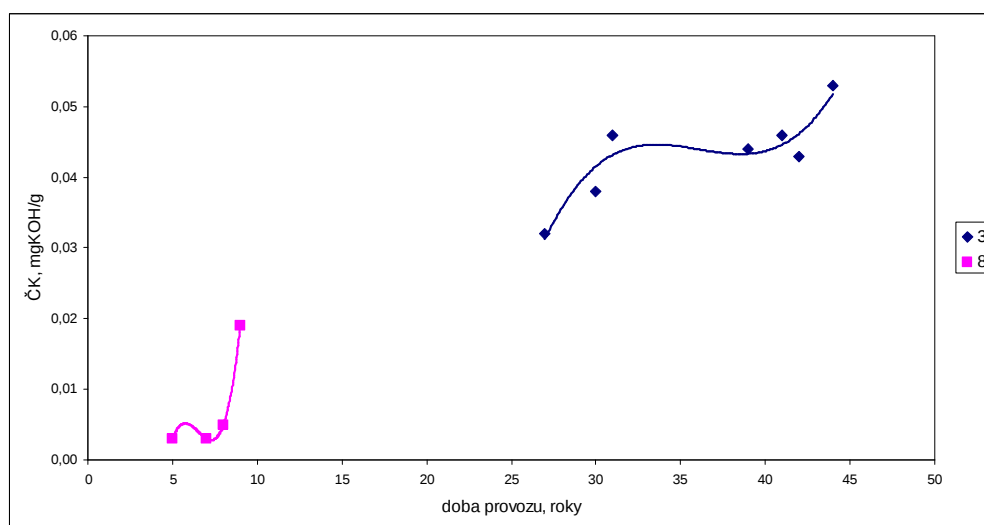
$y = -3 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0029x - 0,022$ a pro transformátor 8: $y = 0,0024x^2 - 0,0294x + 0,0911$. Koeficienty korelace pro transformátor 3 má hodnotu: 0,7915 a pro transformátor 8: 0,9737.

Pro ostatní transformátory (1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9) je rovnice proložení uvedena v tab. 2.3 (Příloha 2), závislost pro transformátor 1, 2, 4, 7, 8, 9 lze vyjádřit obecnou rovnicí: $y = ax^2 - bx + c$, kde koeficienty rovnice nabývají hodnot: $a \in \langle 2 \cdot 10^{-5}; 0,0024 \rangle$, $b \in \langle 0,0005; 0,0973 \rangle$, $c \in \langle 0,0049; 1,6757 \rangle$. Pro transformátory 3, 5 má obecná rovnice tvar $y = -ax^2 + bx - c$. V tomto případě koeficienty rovnice patří do intervalu: $a \in \langle 3 \cdot 10^{-5}; 4 \cdot 10^{-5} \rangle$, $b \in \langle 0,0029; 0,0045 \rangle$, $c \in \langle 0,022; 0,059 \rangle$. Hodnoty koeficientů korelace jsou uvedeny v tab. 2.22.

Na obr. 2.71 je grafická závislost ČK pro případ proložení polynomem 3. stupně pro transformátory 3 a 8. Tvar rovnice proložení pro transformátor 3 je: $y = 2 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0024x^2 + 0,0858x - 0,977$ a pro transformátor 8 je rovnice proložení stejná jako u polynomu 2. stupně. Koeficienty korelace pro transformátor 3 má hodnotu 0,9318 a pro transformátor 8: 0,9737.



Obr. 2.70 Graf proložení polynomem 2. stupně časové závislosti ČK u transformátoru 3 a 8

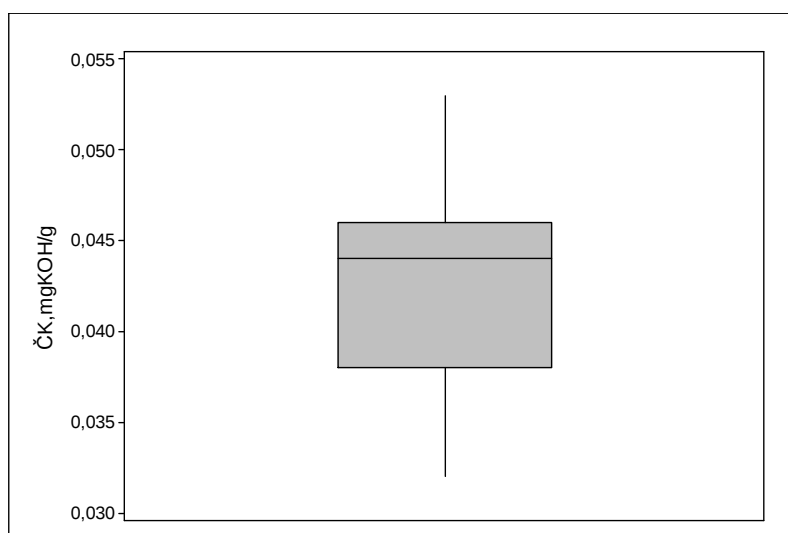


Obr. 2.71 Graf proložení polynomem 3. stupně časové závislosti ČK u transformátoru 3 a 8

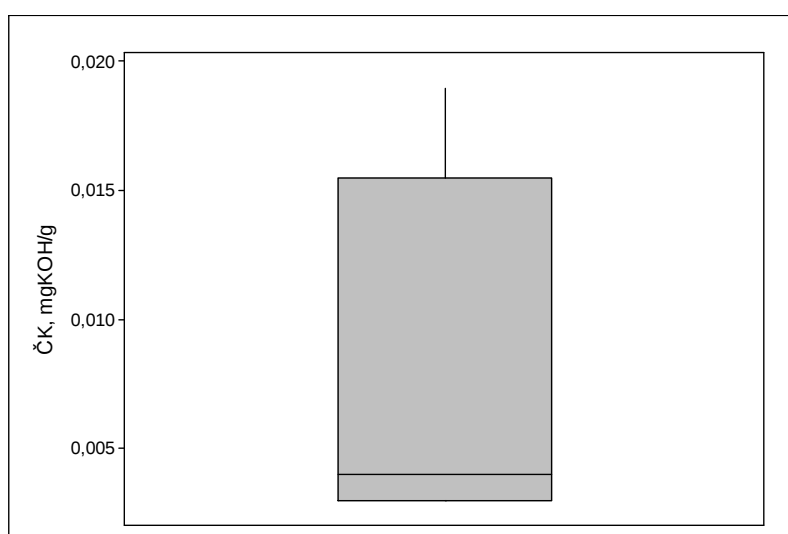
Pro ostatní transformátory (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) je rovnice proložení uvedena v tab. 2.3 (Příloha 2), pro transformátor 3, 4, je tvar obecné rovnice $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde koeficienty rovnice patří do intervalu: $a \in \langle 2 \cdot 10^{-5}; 0,0005 \rangle$, $b \in \langle 0,0024; 0,0489 \rangle$, $c \in \langle 0,0858; 1,6567 \rangle$, $d \in \langle 0,977; 18,572 \rangle$. Pro transformátory 1, 2, 5, 7, 9 je obecný tvar rovnice $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$. V tomto případě koeficienty rovnice nabývají hodnot: $a \in \langle 4 \cdot 10^{-7}; 0,0002 \rangle$, $b \in \langle -3 \cdot 10^{-6}; 0,005 \rangle$, $c \in \langle -0,003; 0,0388 \rangle$, $d \in \langle -0,0428; 0,0979 \rangle$. Hodnoty koeficientů korelace jsou uvedeny v tab. 2.22.

Tab. 2.22 Koeficient korelace proložení časové závislosti ČK pro jednotlivé transformátory

Veličiny stavu olej	Koeficient korelace proložení		Transformátor								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
ČK	lineární		0,8139	0,8508	0,7838	0,4383	0,6027	0,9122	0,5889	0,7454	0,7180
	polynomem	2. stupně	0,8273	0,8609	0,7915	0,6128	0,6306	0,9122	0,6019	0,9737	0,7315
		3. stupně	0,8297	0,8634	0,9318	0,8174	0,6306	0,9122	0,6030	0,9737	0,8149



Obr. 2.72 Krabicový graf ČK u transformátoru 3



Obr. 2.73 Krabicový graf ČK u transformátoru 8

Z výše uvedeného vyplývá, že pro ČK a naměřená data je opět nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně. Je však také možné konstatovat, že i ostatní proložení vykazují vyšší hodnotu koeficientu korelace, např. v případě polynomu 2. stupně u transformátorů 1, 2, 5, 6, 7 a 8. Podobné lze sledovat i v případě lineárního proložení (toto je významný rozdíl oproti zatím doposud uvedeným výsledkům).

V dalším textu jsou i v případě čísla kyselosti použity krabicové grafy. Tyto jsou pro transformátor 3 znázorněny na obr. 2.72 a pro transformátor 8 na obr. 2.73.

Z výsledků krabicových grafů (tab. 2.11(Příloha 2))vyplývá, že nedošlo k žádným úpravám souborů, a tím ani k žádným změnám výsledků.

2.3.3 Závislosti průrazného napětí

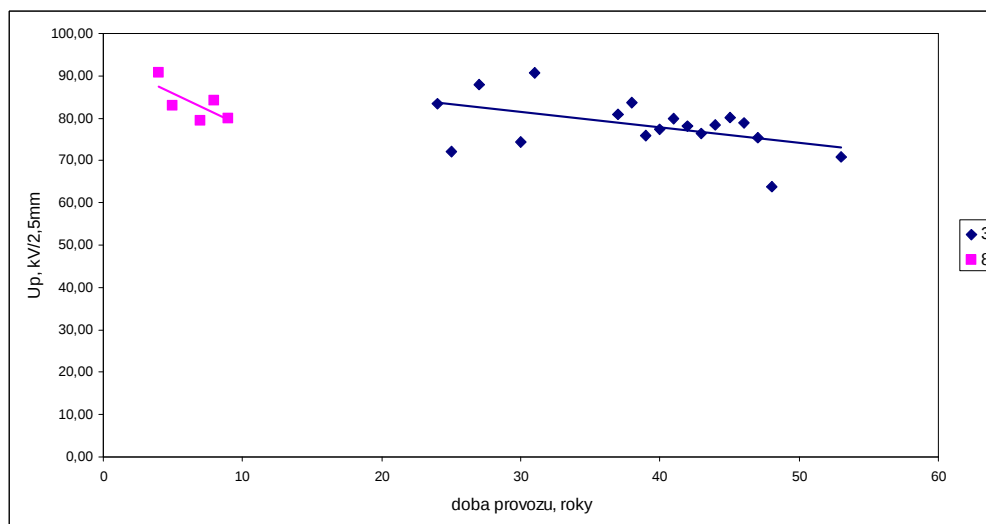
V této kapitole je zkoumána **závislost průrazného napětí (U_P) na čase, závislost U_P na koncentraci různých plynů z kap. 2.2.1 a závislost U_P na obsahu vody.**

A) závislost průrazného napětí na čase

Grafické zpracování časových závislostí U_P je znázorněno pro transformátory 3 a 8 na obr. 2.74, obr. 2.75 a obr. 2.76.

Na obr. 2.74 je lineární proložení grafu časové závislosti U_P u transformátoru 3 a 8. Rovnice proložení je $y = -0,3573x + 92,147$ pro transformátor 3 a $y = -1,5779x + 93,794$ pro transformátor 8. Jejich koeficienty korelace jsou pro transformátor 3 0,4850 a transformátor 8 0,7172.

Pro ostatní transformátory jsou rovnice položeny v tab. 2.4 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.23. Jejich rovnice lze obecně vyjádřit jako $y = -ax + b$, kde $a \in \langle 0,187; 2,648 \rangle$, $b \in \langle 81,353; 104,98 \rangle$, pro transformátory 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.



Obr. 2.74 Lineární proložení grafu časové závislosti U_P u transformátoru 3 a 8

Na obr. 2.75 je graficky znázorněna časová závislost U_P proložena polynomem 2. stupně, a to u transformátoru 3 a 8. Pro transformátor 3 je rovnice proložení $y = -0,0291x^2 + 1,8123x + 53,755$ a pro transformátor 8 je $y = 0,7119x^2 - 10,766x + 120,98$. Jejich koeficienty jsou pro transformátor 3 je 0,5828 a pro transformátor 8 je 0,8299.

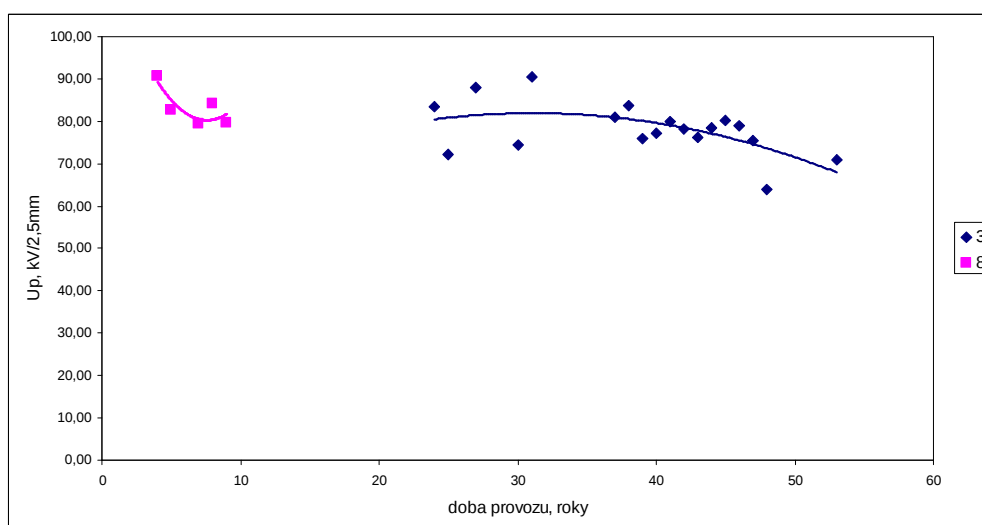
Pro ostatní transformátory jsou rovnice proložení v tab. 2.4 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.23. Obecně lze vyjádřit rovnici proložení pro transformátor 1, 2, 4, 7, 8, 9

takto: $y = ax^2 - bx + c$, kde je $a \in \langle 0,003; 0,7119 \rangle$, $b \in \langle 0,256; 10,766 \rangle$, $c \in \langle 82,881; 126,41 \rangle$ a pro transformátor 3, 5, 6: $y = -ax^2 + bx + c$, kde je $a \in \langle 0,0064; 0,4369 \rangle$, $b \in \langle 0,05481; 1,8123 \rangle$, $c \in \langle 53,755; 83,83 \rangle$.

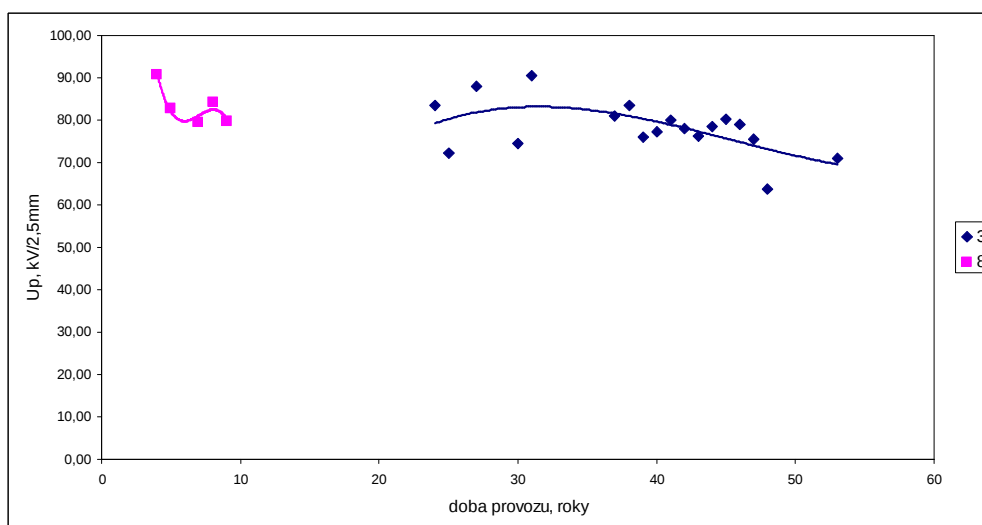
Na obr. 2.76 je graficky znázorněna časová závislost U_p proložená polynomem 3. stupně, a to u transformátoru 3 a 8. Rovnice proložení je pro transformátor 3: $y = 0,0014x^3 - 0,1963x^2 + 8,0683x - 21,288$ a pro transformátor 8: $y = -0,5809x^3 + 12,197x^2 - 83,455x + 266,88$. Jejich koeficienty jsou pro transformátor 3 je 0,5960 a pro transformátor 8 je 0,9562.

Pro ostatní transformátory jsou rovnice proložení v tab. 2.4 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.23. Rovnice proložení obecně pro transformátor 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 je $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde $a \in \langle -0,0014; 0,5809 \rangle$, $b \in \langle -0,1963; 12,197 \rangle$, $c \in \langle -8,0683; 83,46 \rangle$, $d \in \langle -21,288; 753,62 \rangle$.

Z výše uvedeného vyplývá, že pro U_p a naměřená data je opět nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně. Celkové výsledky lze sledovat v tab. 2.23.



Obr. 2.75 Graf proložení polynomem 3. stupně časové závislosti U_p u transformátoru 3 a 8

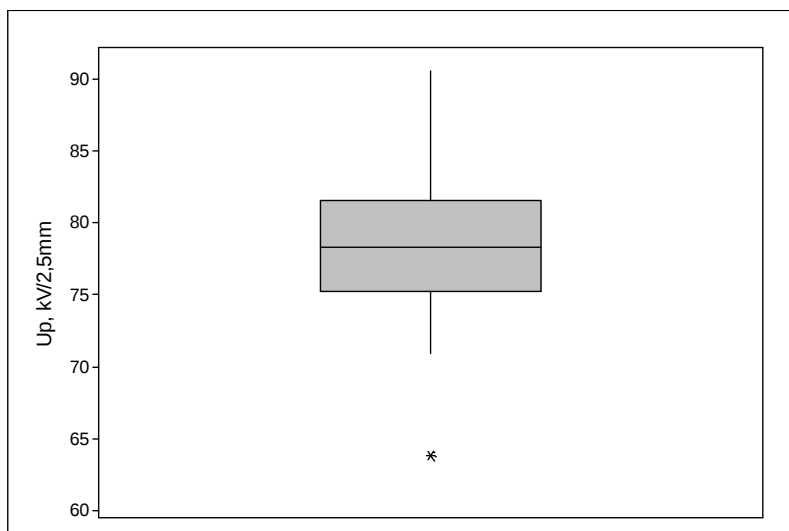


Obr. 2.76 Graf proložení polynomem 3. stupně časové závislosti U_p u transformátoru 3 a 8

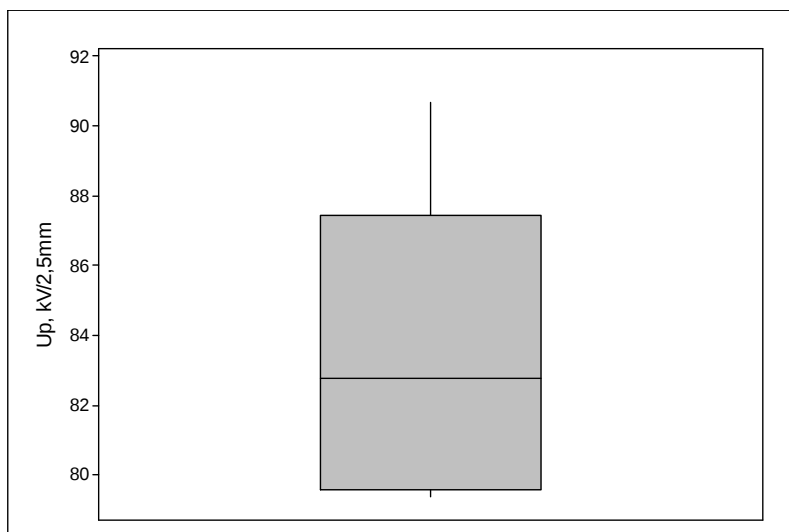
V dalším textu byly použity na krabicové grafy. Ty jsou znázorněny na obr. 2.77 a obr. 2.78. Odlehle hodnoty jsou zapsány do tab. 2.13 (Příloha 2).

Tab. 2.23 Koeficient korelace proložení časové závislosti U_p pro jednotlivé transformátory

Veličiny stavu olej	Koeficient korelace proložení		Transformátor								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_p(t)$	lineární		0,4550	0,1800	0,4850	0,7292	0,3228	0,9607	0,3547	0,7172	0,5125
	polynomem	2. stupně	0,4735	0,1803	0,5828	0,7296	0,3265	0,9918	0,6773	0,8299	0,5935
		3. stupně	0,4816	0,3597	0,5960	0,8930	0,4232	0,9918	0,7797	0,9562	0,7466



Obr. 2.77 Krabicový graf U_p u transformátoru 3

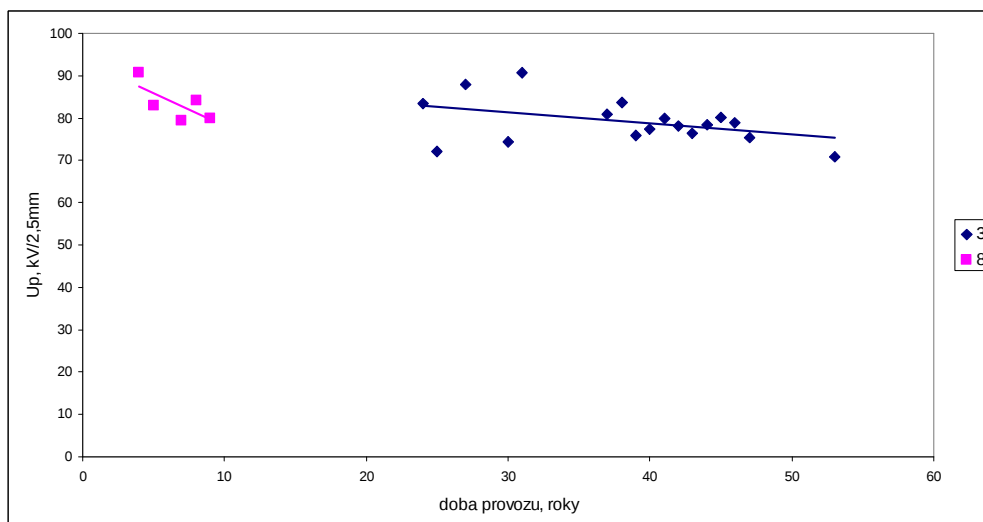


Obr. 2.78 Krabicový graf U_p u transformátoru 8

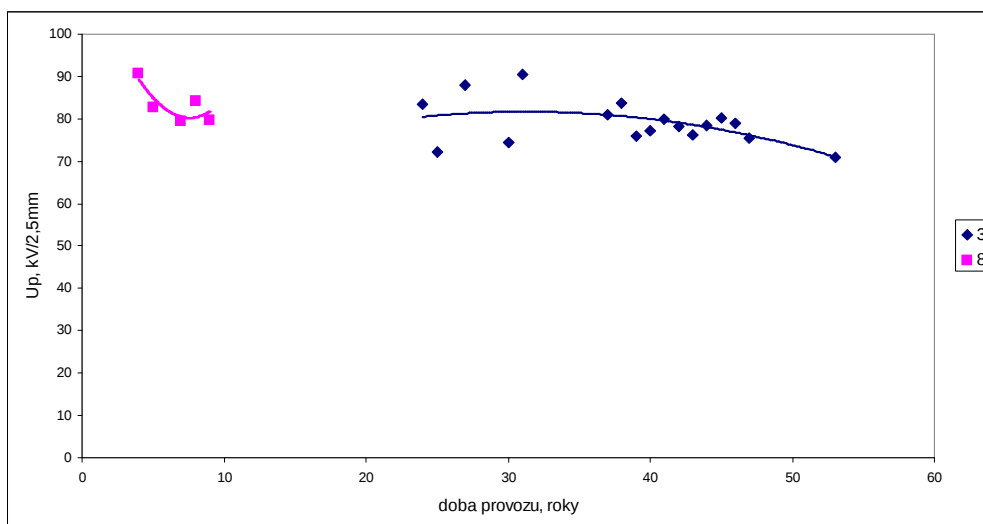
V následujícím textu jsou použity **upravené** soubory.

Na obr. 2.79 je lineární proložení grafu časové závislosti U_p u transformátoru 3 a 8. Rovnice proložení je $y = -0,2599x + 89,067$ pro transformátor 3, a $y = -1,5779x + 93,794$ pro transformátor 8. Jejich koeficienty korelace jsou pro transformátor 3 0,4180 a transformátor 8 0,7172.

Pro ostatní transformátory jsou rovnice položení v tab. 2.5 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.24. Jejich rovnice lze obecně vyjádřit jako $y = -ax + b$, kde $a \in <0,187; 2,648>$, $b \in <81,353; 104,98>$, pro transformátory 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.



Obr. 2.79 Lineární proložení grafu časové závislosti U_p u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory



Obr. 2.80 Graf proložení polynomem 2. stupně časové závislosti U_p u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

Na obr. 2.80 je graficky znázorněna časová závislost U_p proložená polynomem 2. stupně, a to u transformátoru 3 a 8. Pro transformátor 3 je rovnice proložení $y = -0,0224x^2 + 1,398x + 59,854$ a pro transformátor 8 je $y = 0,7119x^2 - 10,766x + 120,98$. Jejich koeficienty jsou pro transformátor 3 je 0,5152 a pro transformátor 8 je 0,8299.

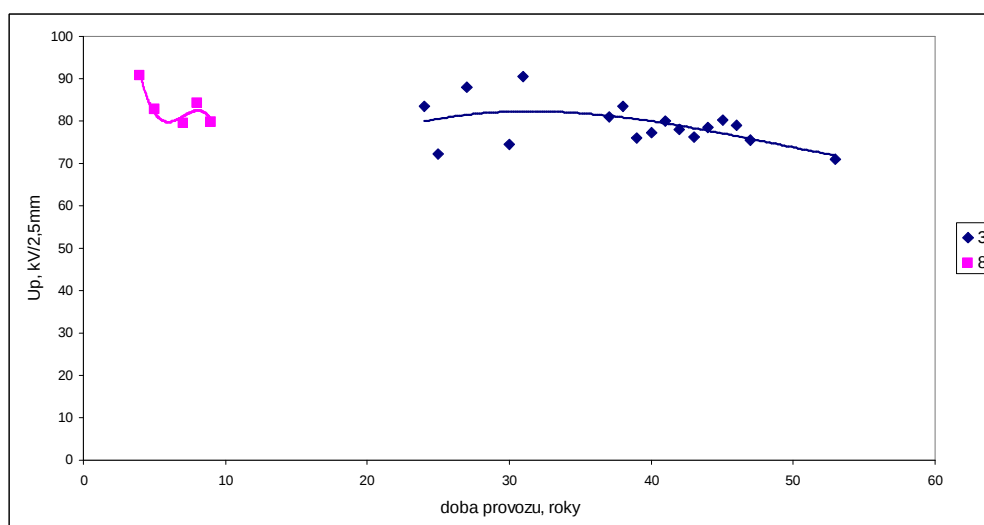
Pro ostatní transformátory jsou rovnice proložení v tab. 2.5 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.24. Obecně lze vyjádřit rovnici proložení pro transformátor 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9 takto: $y = ax^2 - bx + c$, kde je $a \in <0,0006; 0,7119>$, $b \in <0,1936; 10,766>$, $c \in <82,881; 126,41>$ a pro transformátor 3, 6: $y = -ax^2 + bx + c$, kde je $a \in <0,0224; 0,4369>$, $b \in <1,398; 1,5459>$, $c \in <59,854; 82,71>$.

Na obr. 2.81 je graficky znázorněna časová závislost U_p proložená polynomem 3. stupně, a to u transformátoru 3 a 8. Rovnice proložení je pro transformátor 3: $y = 0,0007x^3 - 0,1065x^2 + 4,5499x + 22,021$ a pro transformátor 8: $y = -0,5809x^3 + 12,197x^2 - 83,46x + 266,88$. Jejich koeficienty jsou pro transformátor 3 je 0,5208 a pro transformátor 8 je 0,9562.

Pro ostatní transformátory jsou rovnice proložení v tab. 2.5 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.24. Rovnice proložení obecně pro transformátor 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 je $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde $a \in \langle -0,0007; 0,5809 \rangle$, $b \in \langle -0,1065; 12,197 \rangle$, $c \in \langle -4,5499; 83,46 \rangle$, $d \in \langle 22,021; 753,6 \rangle$.

Z výše uvedeného vyplývá, že pro U_p a naměřená data je opět nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně.

Nakonec lze konstatovat, že vyřazením extrémních hodnot má vliv na hodnocení výsledků. Ovlivněny byly rovnice proložení grafů a jejich koeficienty korelace, podrobnosti ukazuje tab. 2.4 (Příloha 2), tab. 2.5 (Příloha 2), a tab. 2.23, tab. 2.24. Úpravou souborů vyřazením extrémních hodnot nemá vliv na skutečnost, že nejvhodnější proložení průběhů hodnot je polynomem 3. stupně.



Obr. 2.81 Graf proložení polynomem 3. stupně časové závislosti U_p u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

Tab. 2.24 Koeficient korelace proložení časové závislosti U_p pro jednotlivé transformátory pro upravené soubory

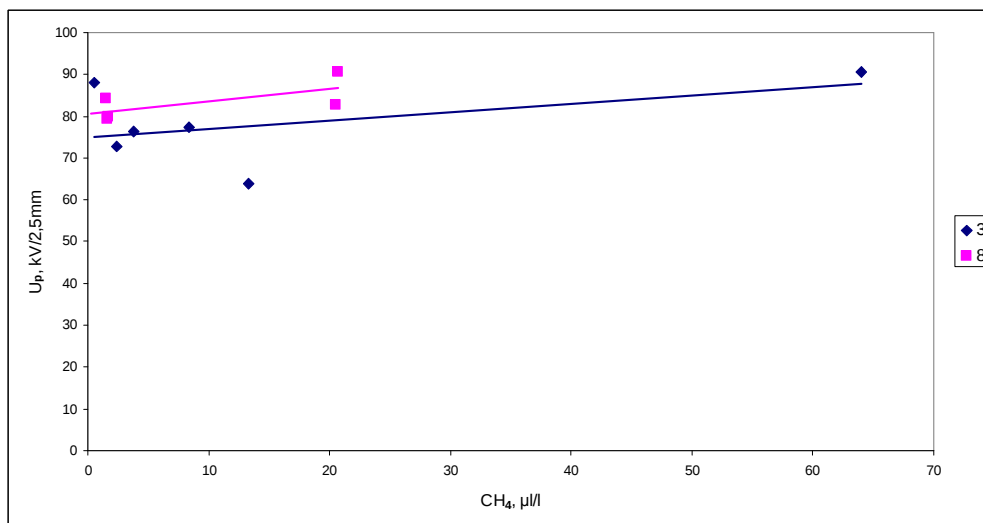
Veličiny stavu olej	Koeficient korelace proložení		Transformátor								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_p(t)$	lineární		0,4550	0,1800	0,4180	0,7292	0,2191	0,9607	0,3547	0,7172	0,5125
	polynomem	2. stupně	0,4735	0,1803	0,5152	0,7296	0,2193	0,9918	0,6773	0,8299	0,5935
		3. stupně	0,4816	0,3597	0,5208	0,8930	0,4480	0,9918	0,7797	0,9562	0,7466

B) závislost na plynech

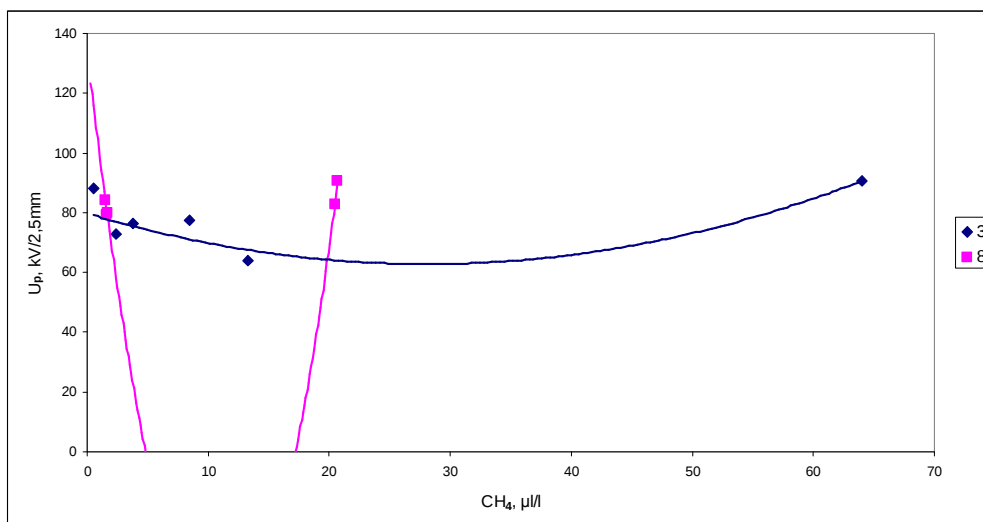
Následující část kapitoly se zabývá **závislostí U_p na jednotlivých plynech** popsaných v kap. 2.2. Grafické znázornění závislosti U_p na CH_4 je na obr. 2.82, obr. 2.83 a obr. 2.84. Grafické znázornění závislosti U_p na H_2 je na obr. 2.85, obr. 2.86 a obr. 2.87.

Na obr. 2.82 je graficky znázorněna závislost U_p na CH_4 proložená lineárně. Proložení lze popsat rovnicí, pro transformátor 3 je to rovnice $y = 0,1986x + 75,091$ a pro transformátor 8 $y = 0,2964x + 80,653$. Jejich koeficient korelace je pro transformátor 3 0,4867 a pro transformátor 8 0,6762.

Pro statní transformátory jsou jejich rovnice proložení v tab. 2.6 (Příloha 2) a jejich koeficient korelace v tab. 2.25. Obecně lze dané rovnice popsat jako $y = ax - b$, kde $a \in \langle -0,1043; 1,5307 \rangle$, $b \in \langle 73,488; 81,52 \rangle$, pro transformátor 1, 2, 3, 5, 8, 9.



Obr. 2.82 Lineární proložení grafu závislosti U_p na CH_4 u transformátoru 3 a 8



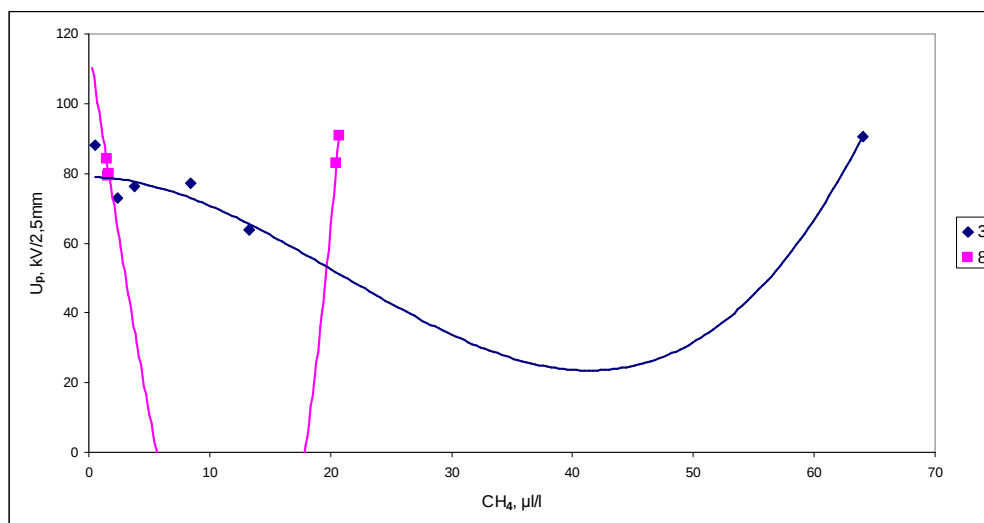
Obr. 2.83 Graf proložení polynomem 2. stupně závislosti U_p na CH_4 u transformátoru 3 a 8

Na obr. 2.83 je grafické znázornění závislosti U_p na CH_4 proložené polynomem 2. stupně. Pro toto proložení je transformátor 3 rovnice $y = 0,0215x^2 - 1,2064x + 79,743$ a transformátor 8 rovnice $y = 1,6196x^2 - 35,659x + 134,03$. Koeficient korelace transformátoru 3 je 0,7351 a transformátor 8 je 0,9551.

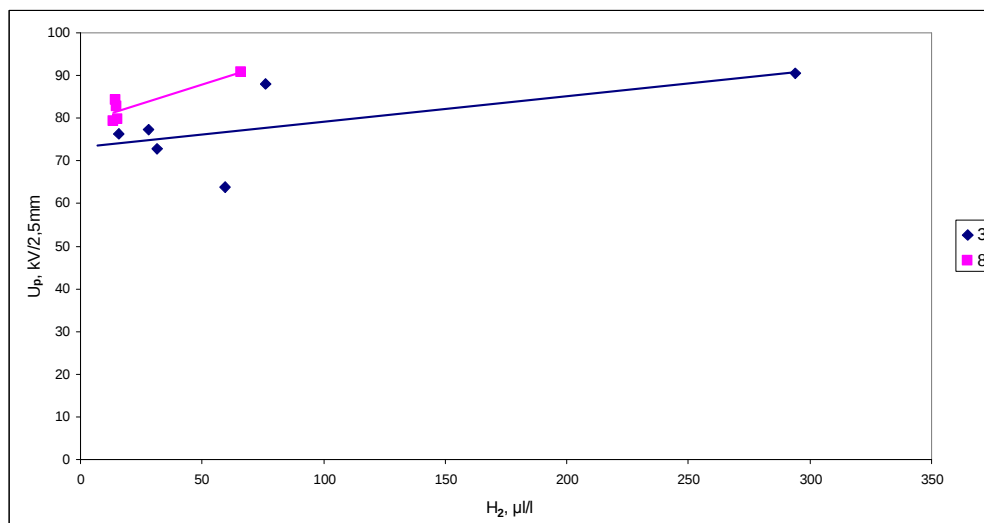
Pro zbývající transformátory jsou rovnice proložení a koeficient korelace v tab. 2.6 (Příloha 2) a tab. 2.25. Obecně lze vyjádřit rovnici pro transformátor 1, 2, 3, 5, 8, 9: $y = ax^2 - bx + c$, kde $a \in \langle -0,0003; 1,7534 \rangle$, $b \in \langle -0,8272; 35,659 \rangle$, $c \in \langle 79,19; 134,18 \rangle$.

Na obr. 2.84 je graficky zobrazena závislosti U_p na CH_4 proložena polynomem 3. stupně. Její rovnice pro transformátor 3: $y = 0,0016x^3 - 0,0964x^2 - 0,0122x + 78,926$ a transformátor 8: $y = 0,0465x^3 + 0,0723x^2 - 22,68x + 117,04$. Koeficienty korelace k těmto transformátorům jsou pro transformátor 3: 0,7513 a transformátor 8: 0,9726.

Rovnice dalších transformátorů jsou v tab. 2.6 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.24. Obecná rovnice pro transformátor 1, 2, 3, 5, 8, 9 je $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde $a \in <-3 \cdot 10^{-6}; 0,2618>$, $b \in <-0,0723; 3,981>$, $c \in <-22,68; 18,857>$, $d \in <57,545; 117,04>$.



Obr. 2.84 Graf proložení polynomem 3. stupně závislosti U_p na CH_4 u transformátoru 3 a 8



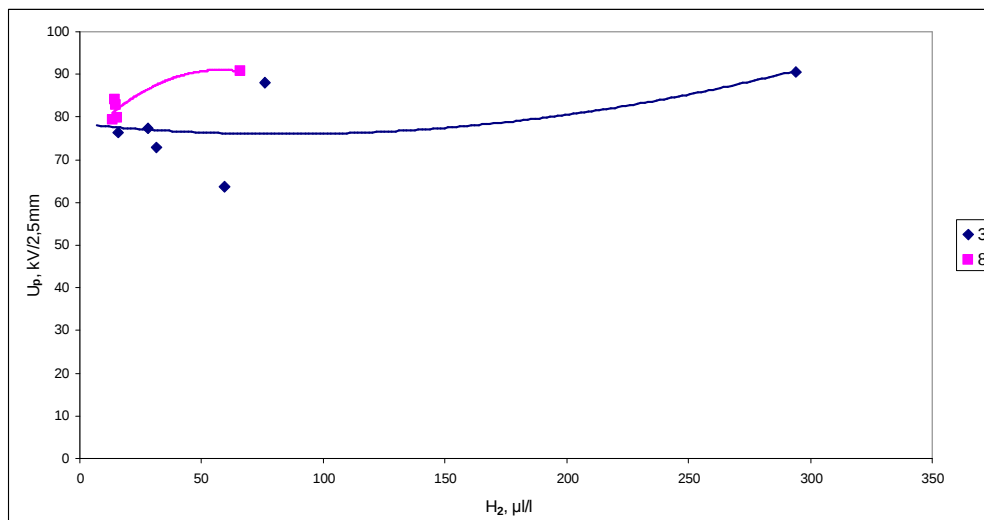
Obr. 2.85 Lineární proložení grafu závislosti U_p na H_2 u transformátoru 3 a 8

Na obr. 2.85 je graficky znázorněna závislost U_p na H_2 lineárně proložená. Daná závislost lze popsat rovnicí proložení a to pro transformátor 3: $y = 0,0603x + 73,079$ a pro transformátor 8: $y = 0,1781x + 78,966$. Koeficient korelace je pro transformátor 3: 0,6412 a transformátor 8: 0,8979.

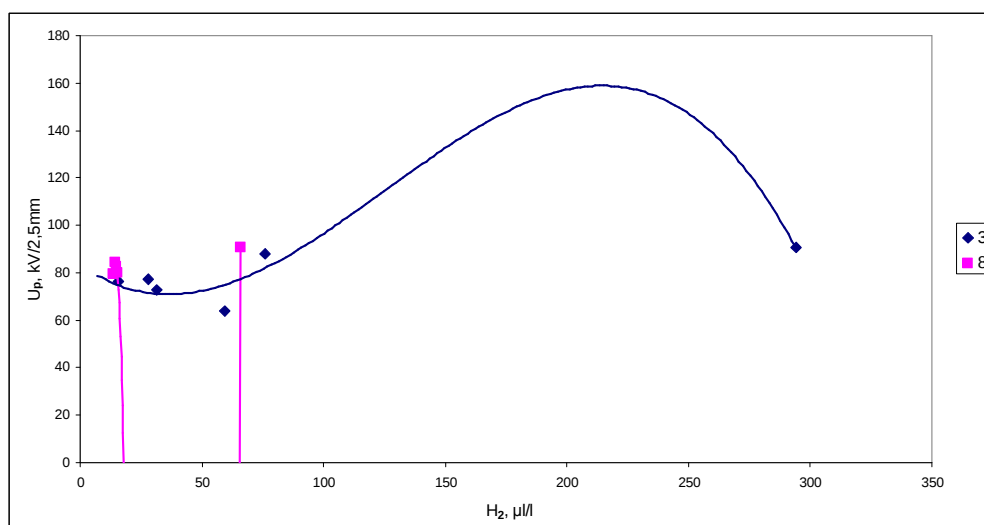
Obecně se může rovnice proložení vyjádřit pro transformátor 1, 2, 3, 5, 8, 9: $y = ax - b$, kde $a \in <-0,1493; 0,1781>$, $b \in <73,079; 82,437>$. Rovnice proložení transformátorů jsou v tab. 2.6 (Příloha 2) a jejich koeficient korelace v tab. 2.25.

Na obr. 2.86 je vyjádřena závislosti U_p na H_2 a proložena polynomem 2. stupně. Tato závislost má pro transformátor 3 rovnici $y = 0,0003x^2 - 0,0563x + 78,374$ a pro transformátor 8 rovnici $y = -0,0051x^2 + 0,5885x + 74,09$. Koeficient korelace transformátoru 3 je 0,5252 a transformátor 8 je 0,8984.

Rovnice proložení transformátorů je v tab. 2.6 (Příloha 2) a jejich koeficienty korelace v tab. 2.25. Pro transformátory 1, 3 lze obecně napsat rovnici proložení jako $y = ax^2 - bx + c$, kde $a \in \langle 0,0003; 0,0054 \rangle$, $b \in \langle 0,0563; 0,3283 \rangle$, $c \in \langle 78,374; 81,529 \rangle$, a pro transformátor 2, 5, 8, 9 takto $y = -ax^2 + bx - c$, kde $a \in \langle 0,0051; 0,0624 \rangle$, $b \in \langle 0,1478; 1,1046 \rangle$, $c \in \langle 67,53; 80,19 \rangle$.



Obr. 2.86 Graf proložení polynomem 2. stupně závislosti U_p na H_2 u transformátoru 3 a 8



Obr. 2.87 Graf proložení polynomem 3. stupně závislosti U_p na H_2 u transformátoru 3 a 8

Na obr. 2.87 je zobrazena grafická závislost U_p na H_2 a proložena polynomem 3. stupně. Její rovnice proložení je pro transformátor 3: $y = -3 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0117x^2 - 0,7303x + 83,455$ a transformátor 8: $y = 0,1449x^3 - 13,739x^2 + 306,32x - 1911,1$. Koeficient korelace transformátoru 3 je 0,6813 a transformátoru 8 0,9970.

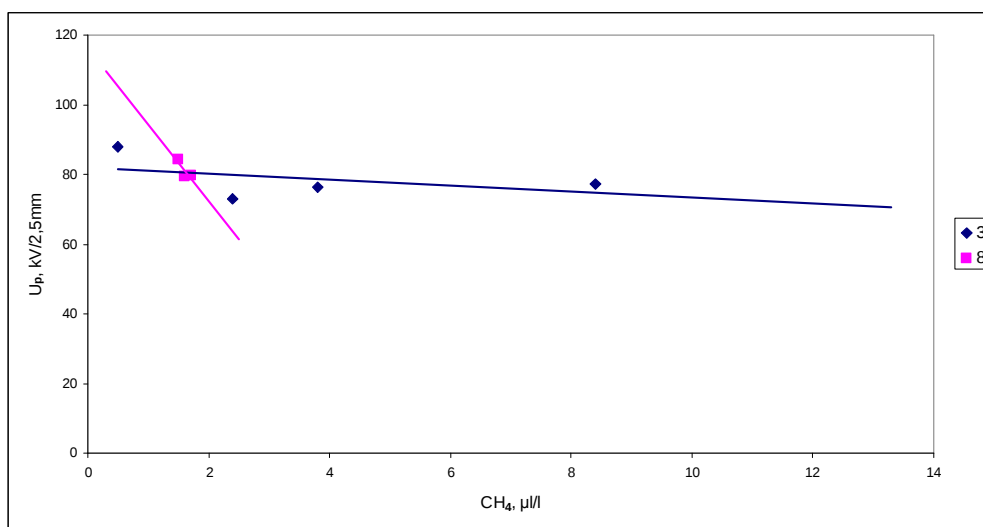
Ostatní rovnice proložení pro transformátory 1, 2, 5, 9 jsou v tab. 2.6 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.25. Obecně je rovnice popsána pro transformátor 2, 8: $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde $a \in \langle 8 \cdot 10^{-5}; 0,1449 \rangle$, $b \in \langle 0,0643; 13,739 \rangle$, $c \in \langle 1,1154; 306,32 \rangle$, $d \in \langle -80,19; 1911,1 \rangle$ a pro transformátor 1, 3, 5, 9 $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde $a \in \langle 3 \cdot 10^{-5}; 0,0005 \rangle$, $b \in \langle 0,0039; 0,0452 \rangle$, $c \in \langle 0,022; 1,006 \rangle$, $d \in \langle 77,252; 86,372 \rangle$.

Z výše uvedeného vyplývá, že pro U_p a naměřená data je opět nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně.

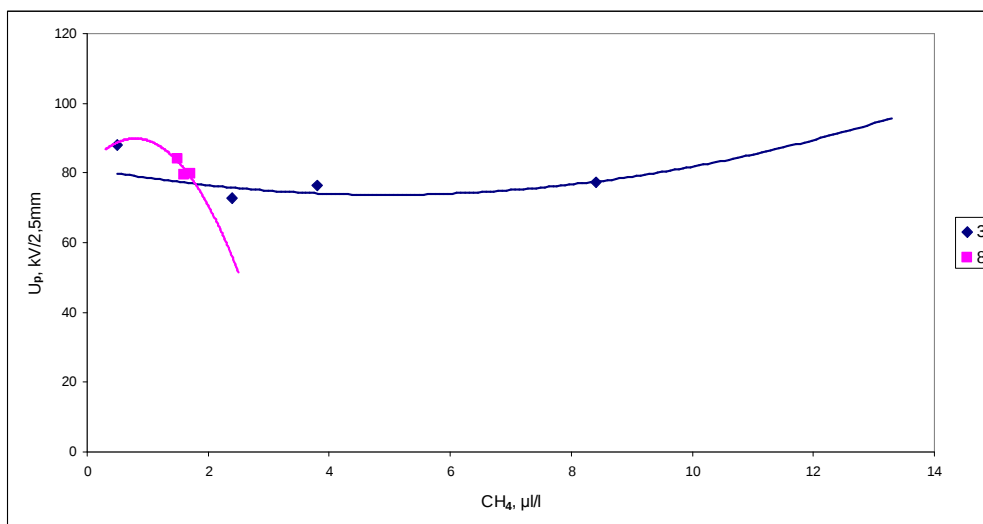
V dalším textu jsou používány upravené soubory. Na tyto soubory byly použity krabicové grafy v tab. 1.5 (Příloha 1) a tab. 2.13 (Příloha 2).

Na obr. 2.88 je graficky znázorněna závislost U_p na CH_4 proložená lineárně. Proložení lze popsat rovnicí, pro transformátor 3 je to rovnice $y = -0,8533x + 81,846$ a pro transformátor 8 $y = -22x + 116,33$. Jejich koeficient korelace je pro transformátor 3 0,4401 a pro transformátor 8 0,8260.

Pro statní transformátory jsou jejich rovnice proložení v tab. 2.7 (Příloha 2) a jejich koeficient korelace v tab. 2.26. Obecně lze dané rovnice popsat jako $y = ax - b$, kde $a \in <0,2203; 1,0649>$, $b \in <70,644; 81,52>$ pro transformátor 2, 5, 9, a $y = -ax + b$, kde $a \in <0,0706; 22>$, $b \in <80,822; 116,33>$ pro transformátor 1, 3, 8.



Obr. 2.88 Lineární proložení grafu závislosti U_p na CH_4 u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory



Obr. 2.89 Graf proložení polynomem 2. stupně závislosti U_p na CH_4 u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

Na obr. 2.89 je grafické znázornění závislosti U_p na CH_4 proložené polynomem 2. stupně. Pro toto proložení je transformátor 3 rovnice $y = 0,3152x^2 - 3,1136x + 81,426$

a transformátor 8 rovnice $y = -13,105x^2 + 20,64x + 81,743$. Koeficient korelace transformátoru 3 je 0,3468 a transformátor 8 je 0,7519.

Pro zbývající transformátory jsou rovnice proložení a koeficient korelace v tab. 2.7 (Příloha 2) a tab. 2.26. Obecně lze vyjádřit rovnici pro transformátor 3, 5, 9: $y = ax^2 - bx + c$, kde $a \in \langle 0,3152; 1,2279 \rangle$, $b \in \langle 3,1136; 16,697 \rangle$, $c \in \langle 81,426; 119,04 \rangle$, a pro transformátor 1, 2, 8: $y = -ax^2 + bx + c$, kde $a \in \langle 0,0226; 13,105 \rangle$, $b \in \langle 0,287; 20,64 \rangle$, $c \in \langle 79,395; 81,743 \rangle$.

Tab. 2.25 Koeficient korelace proložení závislosti U_p na plynech pro jednotlivé transformátory

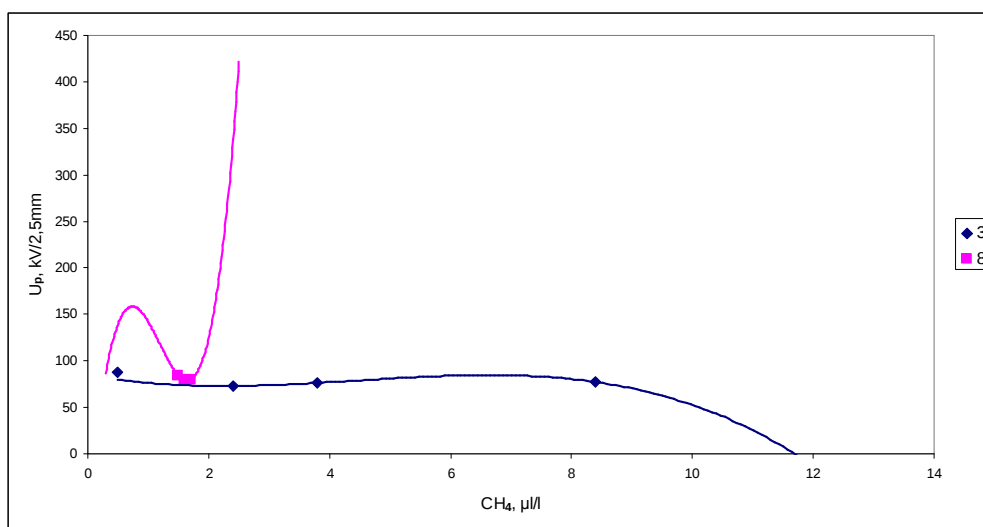
Veličiny stavu oleje	Koeficient korelace proložení		Transformátor					
			1	2	3	5	8	9
$U_p(\text{CH}_4)$	lineární		0,2619	0,4056	0,4867	0,0346	0,6762	0,1425
	polynomem	2. stupně	0,4057	0,3429	0,7351	0,5290	0,9551	0,6599
		3. stupně	0,4117	0,3520	0,7513	0,5591	0,9726	0,9405
$U_p(\text{C}_2\text{H}_6)$	lineární		0,2791	0,0490	0,1517	0,0490	0,9020	0,4352
	polynomem	2. stupně	0,3418	0,0894	0,4868	0,3752	0,9045	0,6885
		3. stupně	0,3460	0,5513	0,6673	0,5622	0,9941	0,7265
$U_p(\text{C}_2\text{H}_4)$	lineární		0,3381	0,1844	0,6414	0,3061	0,9009	0,0883
	polynomem	2. stupně	0,5082	0,2093	0,5899	0,2893	0,9267	0,4551
		3. stupně	0,5184	0,3807	0,6435	0,4331	0,9282	0,5465
$U_p(\text{C}_2\text{H}_2)$	lineární		0,4571	0,0332	0,8310	0,3396	0,6687	0,0889
	polynomem	2. stupně	0,5006	0,3732	0,6412	0,2737	0,9169	0,4545
		3. stupně	0,5203	0,3906	0,6672	0,5595	0,9282	0,6872
$U_p(\text{C}_3\text{H}_8)$	lineární		0,1921	0,7221	0,4538	0,8717	0,9048	0,2955
	polynomem	2. stupně	0,5689	0,4320	0,2245	0,5385	0,9557	0,4145
		3. stupně	0,5797	0,5266	0,6208	0,5621	0,9566	0,4162
$U_p(\text{C}_4\text{H}_{10})$	lineární				0,8691	0,9055	0,5872	0,0794
	polynomem	2. stupně			0,6542	0,5426	0,7712	0,5572
		3. stupně			0,6542	0,5595	0,9830	0,7190
$U_p(\sum \text{C}_x\text{H}_y)$	lineární		0,2814	0,0265	0,0424	0,2486	0,9109	0,0224
	polynomem	2. stupně	0,5172	0,0332	0,6206	0,2544	0,9110	0,2844
		3. stupně	0,5571	0,2412	0,6896	0,5220	0,9114	0,5687
$U_p(\text{H}_2)$	lineární		0,0917	0,1792	0,6412	0,2439	0,8979	0,0707
	polynomem	2. stupně	0,2550	0,3242	0,5252	0,2504	0,8984	0,8207
		3. stupně	0,2550	0,3242	0,6813	0,2508	0,9970	0,8718
$U_p(\text{O}_2)$	lineární		0,7365	0,5561	0,1863	0,5888	0,6005	0,4343
	polynomem	2. stupně	0,7528	0,5992	0,1449	0,3825	0,8840	0,4359
		3. stupně	0,8270	0,6096	0,2265	0,4768	0,9698	0,7478
$U_p(\text{N}_2)$	lineární		0,4668	0,1281	0,0003	0,2069	0,7111	0,0071
	polynomem	2. stupně	0,5819	0,1183	0,0316	0,2258	0,9092	0,6881
		3. stupně	0,6000	0,6243	0,3999	0,5069	0,9110	0,7035
$U_p(\text{CO}_2)$	lineární		0,5780	0,2381	0,5567	0,3342	0,7284	0,4463
	polynomem	2. stupně	0,6373	0,4471	0,5102	0,2876	0,9957	0,5203
		3. stupně	0,6395	0,4618	0,7739	0,4873	0,9967	0,8785
$U_p(\text{CO})$	lineární		0,1594	0,1285	0,6618	0,0424	0,8405	0,2832
	polynomem	2. stupně	0,3375	0,1109	0,6448	0,5100	0,9728	0,6076
		3. stupně	0,4601	0,1109	0,6779	0,5595	0,9993	0,7448
$U_p(\text{Q}_p)$	lineární		0,5621	0,0883	0,5862	0,2709	0,2805	0,1476
	polynomem	2. stupně	0,7216	0,4285	0,6329	0,2573	0,5438	0,5684
		3. stupně	0,7609	0,4387	0,6699	0,5075	0,9946	0,6549

Na obr. 2.90 je graficky zobrazena závislosti U_p na CH_4 proložena polynomem 3. stupně. Její rovnice pro transformátor 3: $y = -0,2834x^3 + 3,7696x^2 - 12,63x + 85,424$

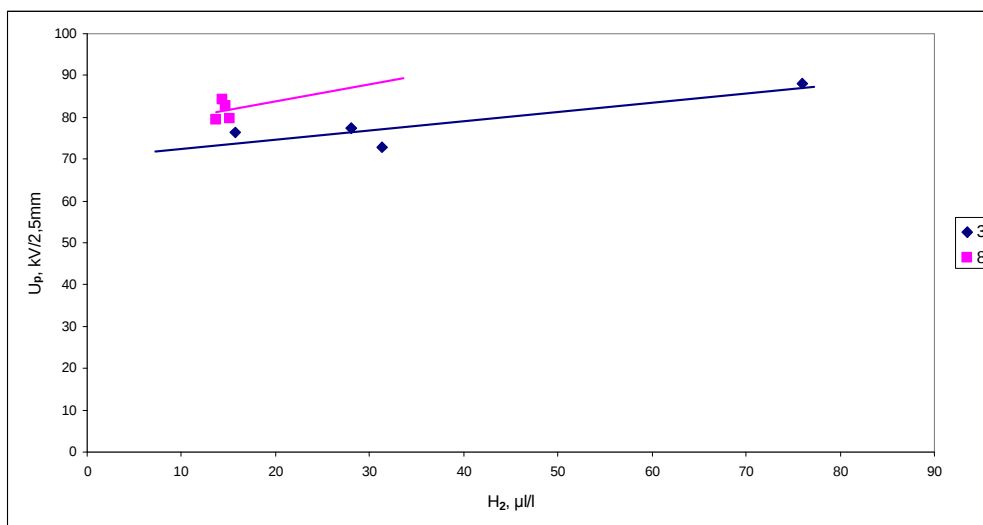
a transformátor 8: $y = 210,92x^3 - 752,42x^2 + 763,76x - 80,355$. Koeficienty korelace k těmto transformátorům jsou pro transformátor 3: 0,3909 a transformátor 8: 0,7907.

Rovnice dalších transformátorů jsou v tab. 2.7 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.26. Obecná rovnice pro transformátor 8, 9 $y = ax^3 - bx^2 + cx - d$, kde $a \in \langle 0,2468; 210,92 \rangle$, $b \in \langle 3,9814; 752,42 \rangle$, $c \in \langle 18,857; 763,76 \rangle$, $d \in \langle -57,545; 80,355 \rangle$, a pro transformátor 1, 2, 3, 5 $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde $a \in \langle 0,0108; 0,823 \rangle$, $b \in \langle 0,2237; 15,314 \rangle$, $c \in \langle 0,7376; 86,335 \rangle$, $d \in \langle 80,034; 222,3 \rangle$.

Na obr. 2.91 je graficky znázorněna závislost U_p na H_2 lineárně proložená. Daná závislost lze popsat rovnicí proložení a to pro transformátor 3: $y = 0,2204x + 70,306$ a pro transformátor 8: $y = 0,4068x + 75,652$. Koeficient korelace je pro transformátor 3: 0,8903 a transformátor 8: 0,1095. Obecně se může rovnice proložení vyjádřit pro transformátor 1, 2, 3, 5, 8, 9: $y = ax + b$, kde $a \in \langle 0,0157; 0,4068 \rangle$, $b \in \langle 70,306; 82,437 \rangle$. Rovnice proložení transformátorů jsou v tab. 2.7 (Příloha 2) a jejich koeficient korelace v tab. 2.26.



Obr. 2.90 Graf proložení polynomem 3. stupně závislosti U_p na CH_4 u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

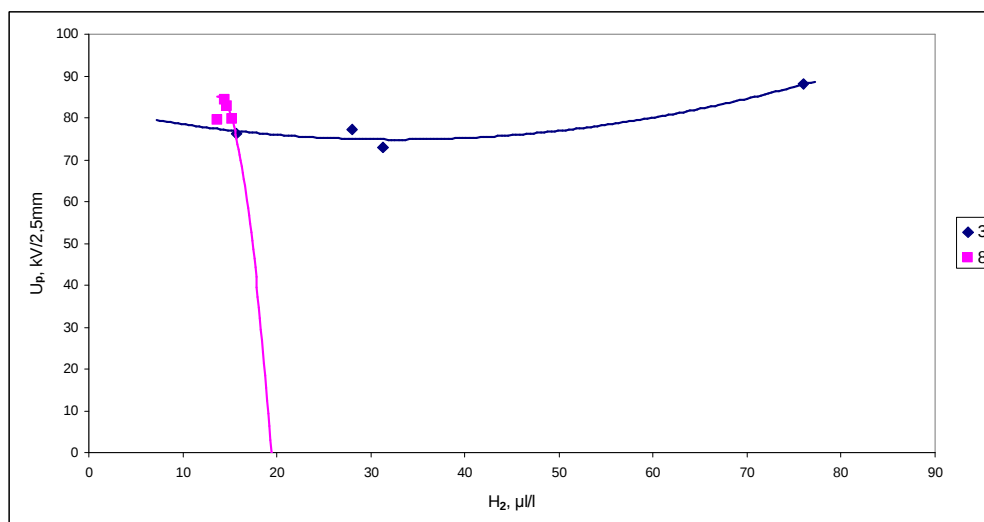


Obr. 2.91 Lineární proložení grafu závislosti U_p na H_2 u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

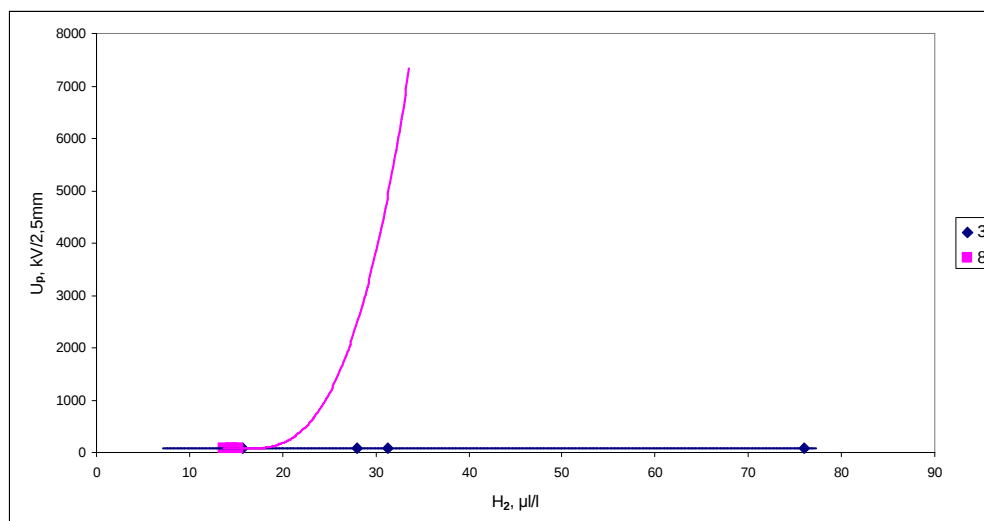
Na obr. 2.92 je vyjádřena závislosti U_p na H_2 a proložena polynomem 2. stupně. Tato závislost má pro transformátor 3 rovnici $y = 0,007x^2 - 0,4612x + 82,349$ a pro

transformátor 8 rovnici $y = -2,7183x^2 + 75,038x - 432,77$. Koeficient korelace transformátoru 3 je 0,5488 a transformátor 8 je 0,4826.

Rovnice proložení transformátorů je tab. 2.7 (Příloha 2) a jejich koeficienty korelace v tab. 2.26. Pro transformátory 3, 5 lze obecně napsat rovnici proložení jako $y = ax^2 - bx + c$, kde $a \in \langle 0,007; 0,0159 \rangle$, $b \in \langle 0,4612; 0,6245 \rangle$, $c \in \langle 80,161; 82,349 \rangle$, a pro transformátor 1, 2, 8, 9 takto $y = -ax^2 + bx + c$, kde $a \in \langle 0,0022; 2,7183 \rangle$, $b \in \langle 0,2553; 75,038 \rangle$, $c \in \langle -432,77; 80,27 \rangle$.



Obr. 2.92 Graf proložení polynomem 2. stupně závislosti U_p na H_2 u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory



Obr. 2.93 Graf proložení polynomem 3. stupně závislosti U_p na H_2 u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

Na obr. 2.93 je zobrazena grafická závislost U_p na H_2 a proložena polynomem 3. stupně. Její rovnice proložení je pro transformátor 3: $y = 7 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0003x^2 - 0,2691x + 81,304$ a transformátor 8: $y = 1,1905x^3 - 54,405x^2 + 822,4x - 4031,8$. Koeficient korelace transformátoru 3 je 0,5493 a transformátoru 8 0,4828.

Ostatní rovnice proložení pro transformátory 2, 3, 5, 8 jsou v tab. 2.7 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.26. Obecně je rovnice popsána pro transformátor 1, 2, 9:

$y = ax^3 - bx^2 + cx + d$, kde $a \in \langle 7 \cdot 10^{-5}; 1,1905 \rangle$, $b \in \langle 0,0003; 54,405 \rangle$,
 $c \in \langle 0,2691; 822,4 \rangle$, $d \in \langle -4031,8; 80,073 \rangle$, a pro transformátor 1, 9:
 $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, $a \in \langle 8 \cdot 10^{-5}; 0,0005 \rangle$, $b \in \langle 0,0101; 0,0452 \rangle$,
 $c \in \langle 0,1489; 1,0061 \rangle$, $d \in \langle 78,99; 86,37 \rangle$.

Tab. 2.26 Koeficient korelace proložení závislosti U_p na plynech pro jednotlivé transformátory pro upravené soubory

Veličiny stavu olej	Koeficient korelace proložení	Transformátor					
		1	2	3	5	8	9
$U_p(\text{CH}_4)$	lineární	0,0640	0,2439	0,4401	0,8829	0,8260	0,1425
	polynomem	2. stupně	0,1296	0,2311	0,3468	0,4551	0,7519
		3. stupně	0,1775	0,3360	0,3909	0,4572	0,7907
$U_p(\text{C}_2\text{H}_6)$	lineární	0,3251	0,3987	0,1852	0,7458	0,2561	0,4352
	polynomem	2. stupně	0,4729	0,4472	0,6167	0,4945	0,7680
		3. stupně	0,4919	0,5096	0,6638	0,5008	0,9941
$U_p(\text{C}_2\text{H}_4)$	lineární	0,2943	0,2037	0,2205	0,6676	0,5259	0,0883
	polynomem	2. stupně	0,1493	0,3056	0,1327	0,4111	0,9145
		3. stupně	0,4199	0,4493	0,6149	0,4572	0,9282
$U_p(\text{C}_2\text{H}_2)$	lineární	0,2961	0,7747	0,0173	0,3396	0,6687	0,0889
	polynomem	2. stupně	0,3612	0,4397	0,2737	0,9169	0,4545
		3. stupně	0,3909		0,5595	0,9282	0,6872
$U_p(\text{C}_3\text{H}_8)$	lineární	0,3657	0,5117	0,6265	0,5097	0,7467	0,2955
	polynomem	2. stupně	0,4667	0,4181	0,3837	0,5007	0,9557
		3. stupně	0,5797		0,4832	0,5008	0,9562
$U_p(\text{C}_4\text{H}_{10})$	lineární					0,5872	0,0794
	polynomem	2. stupně				0,7712	0,5572
		3. stupně				0,9830	0,7190
$U_p(\Sigma \text{C}_x\text{H}_y)$	lineární	0,1921	0,1536	0,4609	0,8001	0,0678	0,0224
	polynomem	2. stupně	0,5689	0,1100	0,6532	0,4496	0,6707
		3. stupně	0,5797	0,1456	0,6715	0,4572	0,7907
$U_p(\text{H}_2)$	lineární	0,1131	0,1245	0,8903	0,4483	0,1095	0,0707
	polynomem	2. stupně	0,4112	0,1726	0,5488	0,3119	0,4826
		3. stupně	0,5031	0,2005	0,5493	0,4572	0,4828
$U_p(\text{O}_2)$	lineární	0,1594	0,4891	0,1476	0,4554	0,8019	0,4343
	polynomem	2. stupně	0,3375	0,5283	0,3731	0,4535	0,7570
		3. stupně	0,4601	0,5382	0,4869		0,7478
$U_p(\text{N}_2)$	lineární	0,7365	0,0566	0,3751	0,4195	0,0412	0,6344
	polynomem	2. stupně	0,7528	0,1825	0,3825	0,3432	0,4882
		3. stupně	0,8270	0,5748	0,4383	0,5008	0,8782
$U_p(\text{CO}_2)$	lineární	0,2921	0,2917	0,2005	0,7921	0,7284	0,4463
	polynomem	2. stupně	0,2156	0,6206	0,1679	0,4759	0,9957
		3. stupně	0,5596	0,6210	0,6286		0,9967
$U_p(\text{CO})$	lineární	0,5780	0,0003	0,1345	0,8601	0,8405	0,4786
	polynomem	2. stupně	0,6373	0,1908	0,4169	0,4397	0,9728
		3. stupně	0,6395	0,8919	0,6574		0,9993
$U_p(\text{Q}_p)$	lineární	0,4668	0,2968	0,3130	0,3356	0,2805	0,1476
	polynomem	2. stupně	0,5819	0,2787	0,2612	0,3920	0,5438
		3. stupně	0,6000	0,3635	0,5041	0,5008	0,9946

Z výše uvedeného rovněž vyplývá, že pro U_p a naměřená data je opět nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně. Podrobnosti lze sledovat především v tab. 2.25, kde jsou uvedeny koeficienty korelace pro jednotlivé plyny a proložení. Vysokou hodnotu koeficientu korelace lze sledovat např. u plynu CH_4 a transformátoru 8 (0,9726), u plynu

C_4H_{10} a opět transformátoru 8 (0,9830) nebo u plynů Q_p a zase u transformátoru 8 (0,9946).

V dalším byly analyzovány upravené soubory.

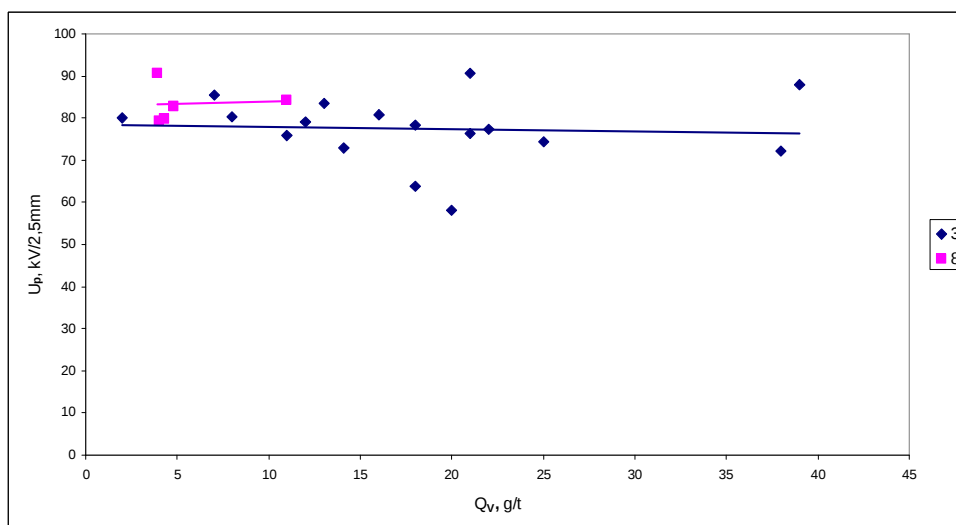
Nakonec lze konstatovat, že vyřazení extrémních hodnot má vliv na hodnocení výsledků. U upravených souborů byly ovlivněny rovnice proložení grafů a jejich koeficienty korelace tab. 2.6 (Příloha 2), tab. 2.7 (Příloha 2), a tab. 2.25, tab. 2.26 a to tak, že v 18 případech koeficient korelace stoupl a v 7 klesl. Tato úprava nemá vliv na skutečnost, že nejvhodnější proložení průběhů hodnot je polynomem 3. stupně.

C) závislost na obsahu vody rozpuštěné v izolačním oleji

Další text obsahuje **rozběr závislosti průrazného napětí (U_p) na obsahu vody rozpuštěné v izolačním oleji (Q_v)**. Jejich grafické zobrazení je na obr. 2.94, obr. 2.95 a obr. 2.96.

Na obr. 2.94 je grafické znázornění lineárního proložení závislosti U_p na Q_v . Rovnice proložení pro transformátor 3 $y = -0,0543x + 78,451$ je a pro transformátor 8 je $y = 0,0939x + 82,854$. Koeficienty korelace jsou pro transformátor 3: 0,0663 a transformátor 8: 0,0624.

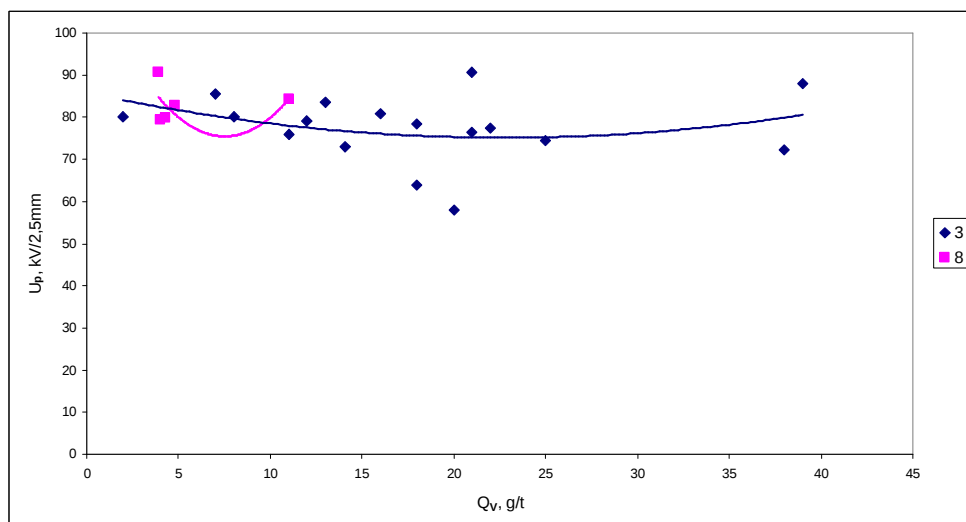
Pro transformátory 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9 jsou rovnice proložení v tab. 2.8 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.27. Obecně se dá rovnice vyjádřit pro transformátor 8, 9 $y = ax + b$, kde $a \in \langle 0,0939; 0,1621 \rangle$, $b \in \langle 82,28; 82,854 \rangle$, a pro transformátor 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 $y = -ax + b$, kde $a \in \langle 0,0351; 2,0635 \rangle$, $b \in \langle 77,975; 98,12 \rangle$.



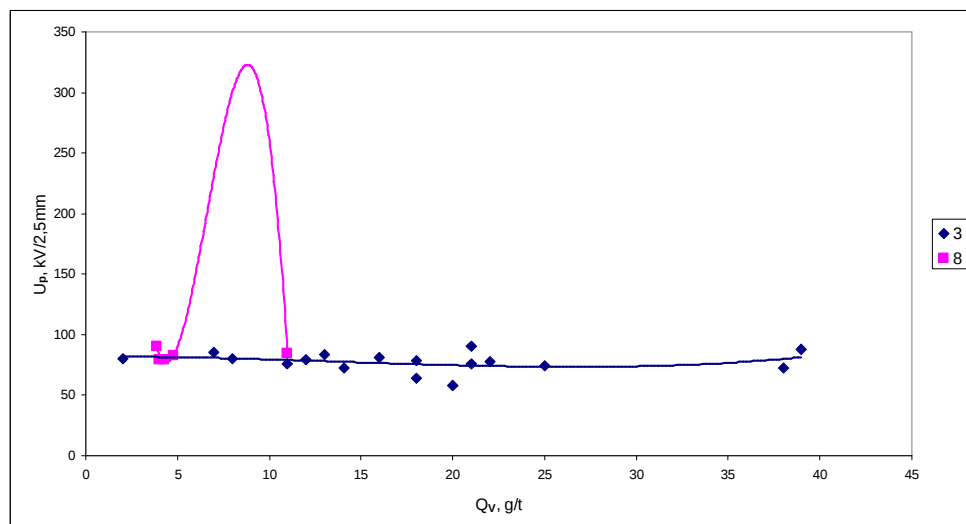
Obr. 2.94 Lineární proložení grafu závislosti U_p na Q_v u transformátoru 3 a 8

Na obr. 2.95 je zobrazena grafická závislost U_p na Q_v a proložena polynomem 2. stupně. Proložení má rovnici pro transformátor 3 $y = 0,0206x^2 - 0,9397x + 85,837$ a pro transformátor 8 $y = 0,7193x^2 - 10,8x + 115,99$. Koeficienty korelace jsou pro transformátor 3: 0,3203 a transformátor 8: 0,3626.

Ostatní transformátory mají rovnici proložení v tab. 2.8 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.27. Obecně se rovnice proložení popíše jako $y = ax^2 - bx + c$, kde $a \in \langle 0,0206; 0,7193 \rangle$, $b \in \langle 0,9397; 10,8 \rangle$, $c \in \langle 85,099; 115,99 \rangle$ a to pro transformátor 3, 5, 8 a $y = -ax^2 + bx - c$, kde $a \in \langle 0,0173; 0,2367 \rangle$, $b \in \langle 0,3568; 4,115 \rangle$, $c \in \langle 45,805; 81,77 \rangle$, pro transformátor 1, 2, 4, 6, 7, 9.



Obr. 2.95 Graf proložení polynomem 2. stupně závislosti U_p na Q_v u transformátoru 3 a 8



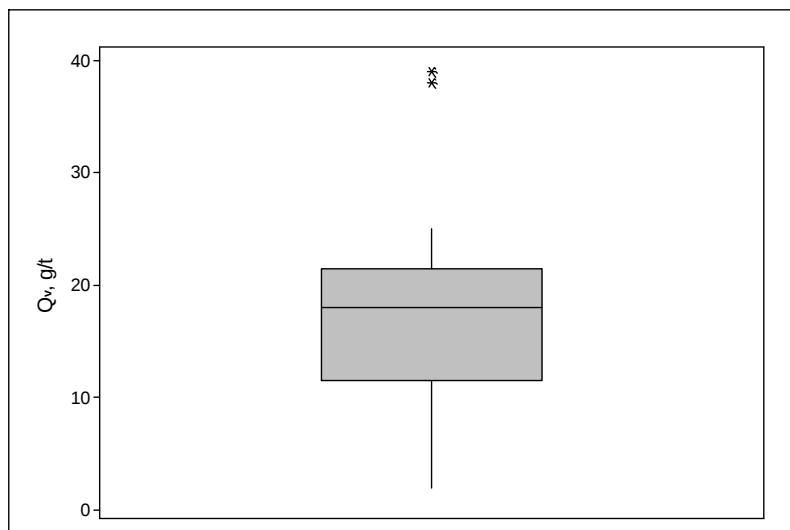
Obr. 2.96 Graf proložení polynomem 3. stupně závislosti U_p na Q_v u transformátoru 3 a 8

Tab. 2.27 Koeficient korelace proložení závislosti U_p na Q_v pro jednotlivé transformátory

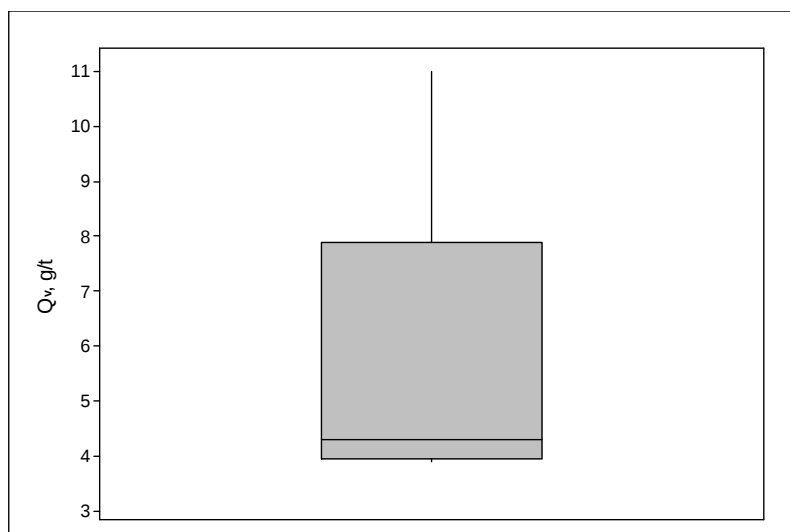
Ostatní veličiny	Koeficient korelace proložení		Transformátor								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_p(Q_v)$	lineární		0,3659	0,0447	0,0663	0,7295	0,1884	0,9453	0,0837	0,0624	0,0640
	polynomem	2. stupně	0,4832	0,3688	0,3203	0,9767	0,2877	0,9887	0,4332	0,3626	0,0656
		3. stupně	0,5417	0,3768	0,3458	0,9768	0,3003	0,0000	0,8754	0,7738	0,4575

Rozbor závislosti průrazného napětí (U_p) na obsahu vody rozpuštěné v izolačním oleji (Q_v) je přehledně uveden v tab. 2.27. Zde jsou koeficienty korelace pro jednotlivá proložení. Z výsledků vyplývá, že nejvhodnější proložení průběhů závislostí je polynomem 3. stupně. Vysokou hodnotu koeficientu korelace pro toto proložení vykazuje např. transformátor 7 (0,8754).

Potom byly soubory upraveny pomocí krabicových grafů tab. 2.12 (Příloha 2) a tab. 2.13 (Příloha 2), čímž byly eliminovány extrémní hodnoty. V následující části kapitoly jsou rozebrány tyto **upravené soubory**.



Obr. 2.97 Krabicový graf Q_V pro transformátor 3



Obr. 2.98 Krabicový graf Q_V pro transformátor 8

Obr. 2.96 znázorňuje grafickou závislost U_P na Q_V a proložena polynomem 3. stupně. Rovnice proložení je $y = 0,0011x^3 - 0,0467x^2 + 0,1623x + 81,53$ a koeficient korelace 0,3458 pro transformátor 3 a $y = -5,6967x^3 + 112,96x^2 - 663,3x + 1294,4$ a koeficient korelace 0,7738 pro transformátor 8.

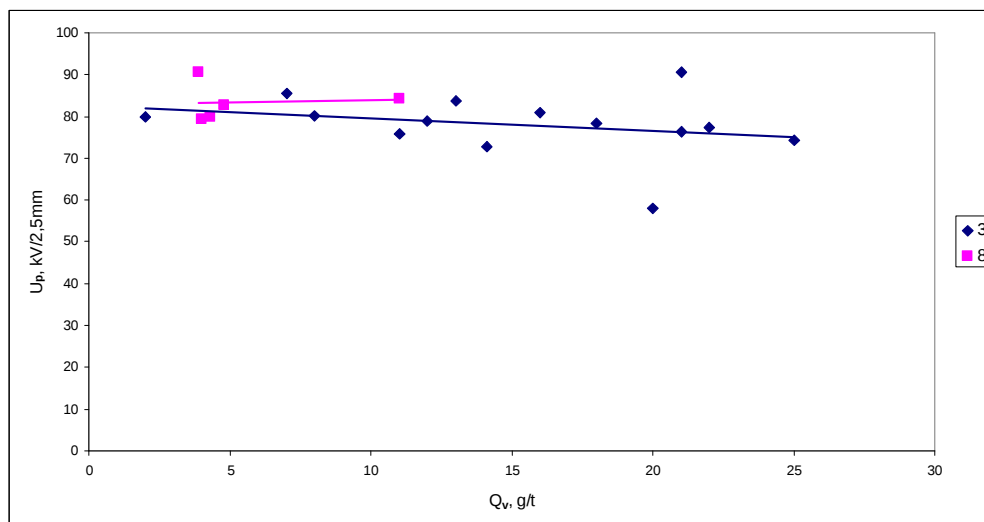
Ostatní transformátory mají rovnici proložení v tab. 2.8 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.27. Obecně lze rovnici zapsat pro transformátor 1, 3, 4, 7, 9 takto $y = ax^3 - bx^2 + cx + d$, kde $a \in \langle 0,0005; 0,7312 \rangle$, $b \in \langle 0,0467; 12,002 \rangle$, $c \in \langle 0,1623; 61,829 \rangle$, $d \in \langle -16,59; 81,53 \rangle$ a pro transformátor 2, 5, 8 takto $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde $a \in \langle 0,0009; 5,6967 \rangle$, $b \in \langle 0,0257; 112,96 \rangle$, $c \in \langle 0,2256; 663,3 \rangle$, $d \in \langle 77,07; 1294,4 \rangle$.

Na obr. 2.99 je grafické znázornění lineárního proložení závislosti U_P na Q_V . Rovnice proložení pro transformátor 3 $y = -0,3056x + 82,665$ je a pro transformátor 8 je $y = 0,0939x + 82,854$. Koeficienty korelace jsou pro transformátor 3: 0,2739 a transformátor 8: 0,0624.

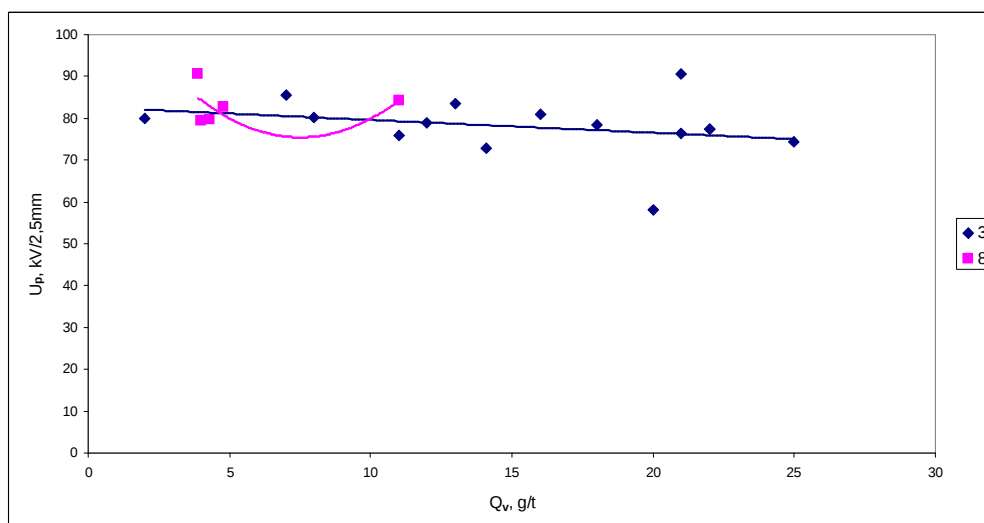
Pro transformátory 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9 jsou rovnice proložení v tab. 2.9 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.28. Obecně se dá rovnice vyjádřit pro transformátor 2, 8, 9

$y = ax - b$, kde $a \in \langle 0,0939; 0,4074 \rangle$, $b \in \langle 76,912; 82,854 \rangle$, a pro transformátor 1, 3, 4, 5, 6, 7 $y = -ax + b$, kde $a \in \langle 0,0517; 2,0635 \rangle$, $b \in \langle 78,185; 98,12 \rangle$.

Na obr. 2.100 je zobrazena grafická závislost U_p na Q_v a proložena polynomem 2. stupně. Proložení má rovnici pro transformátor 3 $y = 0,0003x^2 - 0,313x + 82,705$ a pro transformátor 8 $y = 0,7193x^2 - 10,8x + 115,99$. Koeficienty korelace jsou pro transformátor 3: 0,2739 a transformátor 8: 0,3626.



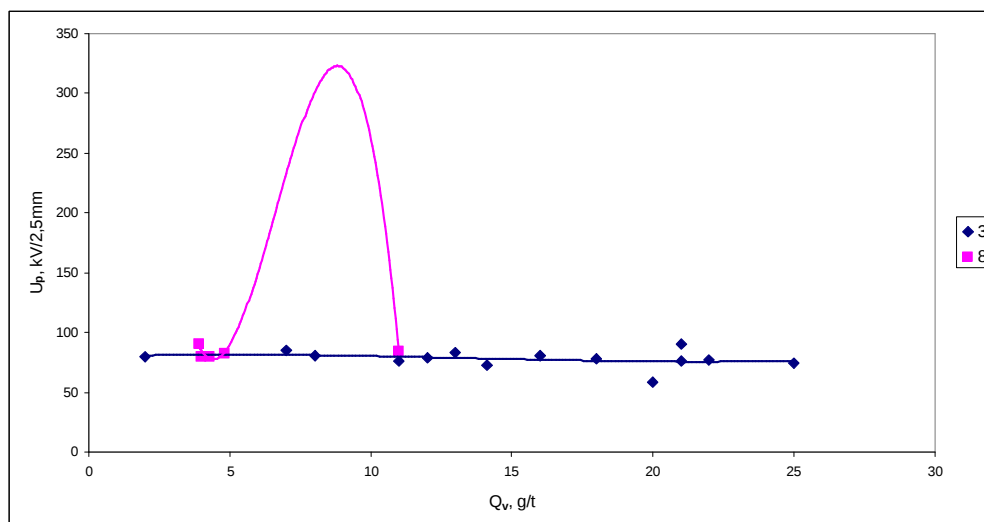
Obr. 2.99 Lineární proložení grafu závislosti U_p na Q_v u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory



Obr. 2.100 Graf proložení polynomem 2. stupně závislosti U_p na Q_v u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

Ostatní transformátory mají rovnici proložení v tab. 2.9 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.28. Obecně se rovnice proložení popíše jako $y = ax^2 - bx + c$, kde $a \in \langle 0,0003; 0,7193 \rangle$, $b \in \langle 0,1836; 10,8 \rangle$, $c \in \langle 80,49; 115,99 \rangle$ a to pro transformátor 3, 5, 8 a $y = -ax^2 + bx + c$, kde $a \in \langle 0,0076; 0,2367 \rangle$, $b \in \langle 0,3568; 4,115 \rangle$, $c \in \langle 45,805; 81,77 \rangle$ pro transformátor 1, 2, 4, 6, 7, 9.

Obr. 2.101 znázorňuje grafickou závislost U_p na Q_v a proložena polynomem 3. stupně. Rovnice proložení je $y = 0,0026x^3 - 0,104x^2 + 0,85x + 79,629$ a koeficient korelace 0,2924 pro transformátor 3 a $y = -5,6967x^3 + 112,96x^2 - 663,3x + 1294,4$ a koeficient korelace 0,7738 pro transformátor 8.



Obr. 2.101 Graf proložení polynomem 3. stupně závislosti U_p na Q_v u transformátoru 3 a 8 pro upravené soubory

Tab. 2.28 Koeficient korelace proložení závislosti U_p na Q_v pro jednotlivé transformátory a upravené soubory

Plyn	Koeficient korelace proložení	Transformátor								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_p(Q_v)$	lineární	0,3659	0,2951	0,2739	0,7295	0,1947	0,9453	0,0837	0,0624	0,0640
	polynomem 2. stupně	0,4832	0,2965	0,2739	0,9767	0,1957	0,9887	0,4332	0,3626	0,0656
	polynomem 3. stupně	0,5417	0,2987	0,2924	0,9768	0,4666	0,0000	0,8754	0,7738	0,4575

Ostatní transformátory mají rovnici proložení v tab. 2.9 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.28. Obecně lze rovnici zapsat pro transformátor 1, 3, 4, 7, 9 takto $y = ax^3 - bx^2 + cx + d$, kde $a \in <0,0005; 0,7312>$, $b \in <0,104; 12,002>$, $c \in <0,85; 61,829>$, $d \in <7,0264; 79,629>$ a pro transformátor 2, 5, 8 takto $y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, kde $a \in <0,0022; 5,6967>$, $b \in <0,072; 112,96>$, $c \in <0,2542; 663,3>$, $d \in <78,482; 1294,4>$.

Z výsledků vyplývá, že nejvhodnější proložení průběhů závislostí je opět polynomem 3. stupně. Odstraněním extrémních hodnot se změnila rovnice proložení i koeficienty korelace (převážně klesla jejich hodnota). Např. u transformátoru 7 je hodnota koeficientu korelace 0,8754.

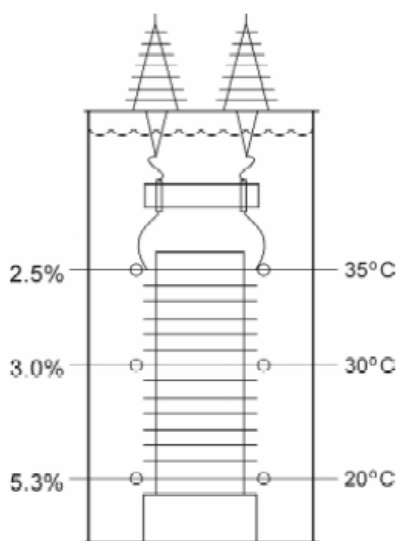
2.3.4 Teplotní závislost obsahu vody rozpuštěné v oleji

Tato kapitola je zaměřena na **teplotní závislost obsahu vody rozpuštěné v oleji** (Q_v). Vlhkost je nejčastější příčina selhání transformátoru. Do transformátoru vniká z ovzduší nebo vzniká při oxidačním stárnutí izolace. Vlhkost se může vyskytovat v oleji v těchto formách:

- Rozpuštěná voda – dostává se do oleje vlivem absorpce.
- Volná voda – dostává se do oleje vlivem jeho hydrofobních vlastností.
- Emulgovaná voda – jedná se o mikroskopické kapky vody a oleje. Může tak vznikat hydrofilní nebo hydrofobní emulze.
- Reakční voda – vzniká z chemických reakcí. Při styku s chladnějším olejem se mění na rozpuštěnou vodu.

Obsah vody rozpuštěné v oleji je dáno množstvím vody **emulgované a rozpuštěné**. Emulgovaná voda silně **ovlivňuje průrazné napětí**. Dále pak voda snižuje mechanickou pevnost, elektrickou pevnost izolace, zhoršuje elektroizolační vlastnosti oleje, urychluje oxidaci.

Olej a celulóza mají **rozdílnou schopnost** vázat vodu. Nejprve absorbuje vlhkost olej až do nasyceného stavu a potom celulóza. **Rozpustnost vody v oleji** stoupá s teplotou, u celulózy s teplotou klesá. Na obr. 2.102 je naznačeno **rozložení vody v izolaci transformátoru**. Ve spodní části nádoby, kde je teplota nižší, je procento obsahu vody obsažené v celulóze největší. Směrem k víku transformátoru se teplota zvyšuje, to dokazuje i model teplotního rozložení transformátoru na obr. 2.46 (kap. 2.2.2) a tím se snižuje obsah vody v papírové izolaci.



Obr. 2.102 Rozložení vody v izolaci transformátoru [34]

Jaký vliv má teplota na obsah vody ukazuje obr. 2.103 (Nielsenův diagram).

Na obr. 2.103 je znázorněn obsah vody v závislosti na teplotě při různém nasycení. K určení přesného procenta nasycení je potřeba mít k dispozici přesnou teplotu oleje.

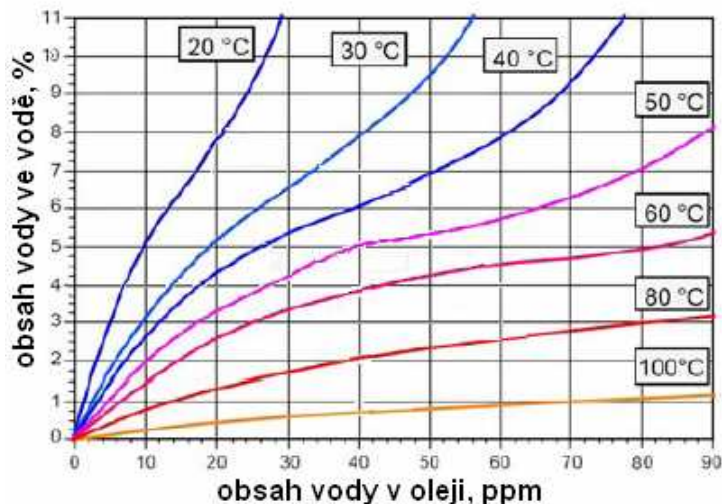
Teplota oleje není v transformátoru stejná, jak je vidět na obr. 2.46 (kap. 2.2.2). Za teplotu izolace se považuje teplota horní vrstvy oleje, pokud transformátor byl v klidu minimálně 20 hod. Jestliže byl transformátor v klidu minimálně 3 hod. považuje se za teplotu izolace střední vrstva oleje. Střední vrstva oleje se určí průměrem hodnot horní a dolní vrstvy. Teplotu oleje lze také určit z měření odporu vinutí.

Na obr. 2.105 je lineární proložení teplotní závislosti obsahu vody rozpuštěné v oleji (Q_v) pro transformátor 3. Z grafu vyplývá, že je obsah vody rozpuštěné v oleji (Q_v) závislý na teplotě oleje. Obsah vody rozpuštěné v oleji (Q_v) s rostoucí teplotou stoupá. U transformátoru 7 lze pozorovat totéž. Transformátor 9 se chová opačně. To může být způsobeno různým procentem **nasycení oleje**.

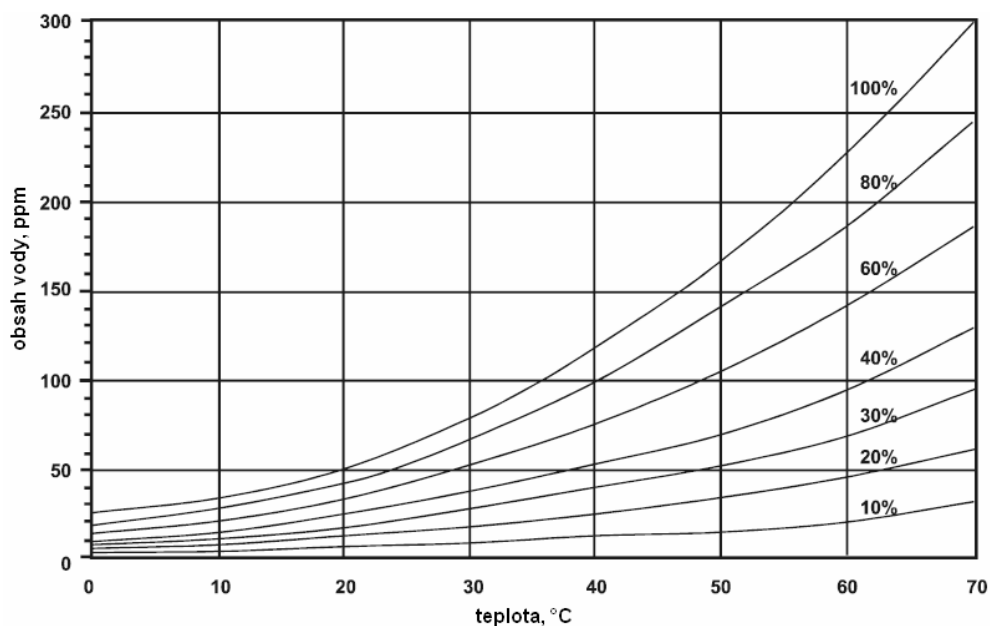
Jak je patrné z obr. 2.104, obsah vody závisí na teplotě, ale i na procentu nasycení. Tedy čím větší je procento nasycení, tím křivka strměji stoupá s teplotou. Pokud hodnota nasycení u teploty 20 °C byla kolem 100% a následná hodnota při 40 °C byla kolem 10%, pak by to vysvětlovalo klesající charakter **teplotní závislosti obsahu vody** transformátoru 9 na obr. 2.106.

V této kapitole je rozebrána **teplotní závislost obsahu vody rozpuštěné v oleji**. Jsou vysvětleny některé pojmy, např. voda **rozpuštěná, volná, emulgovaná** a voda **reakční**. Je

konstatováno, že **obsah vody rozpuštěné v oleji** je **dáno množstvím** vody emulgované a rozpuštěné. Právě emulgovaná voda silně **ovlivňuje** průrazné napětí. Je také rozebráno **rozložení vody v izolaci** transformátoru a dále také **souvislost obsahu vody s teplotou** v transformátoru. Z hlediska teplotní závislosti obsahu vody jsou popsány dva konkrétní příklady, a to transformátor 3 a 9.



Obr. 2.103 Nielsenův diagram [45]



Obr. 2.104 Obecná závislost obsahu vody na teplotě

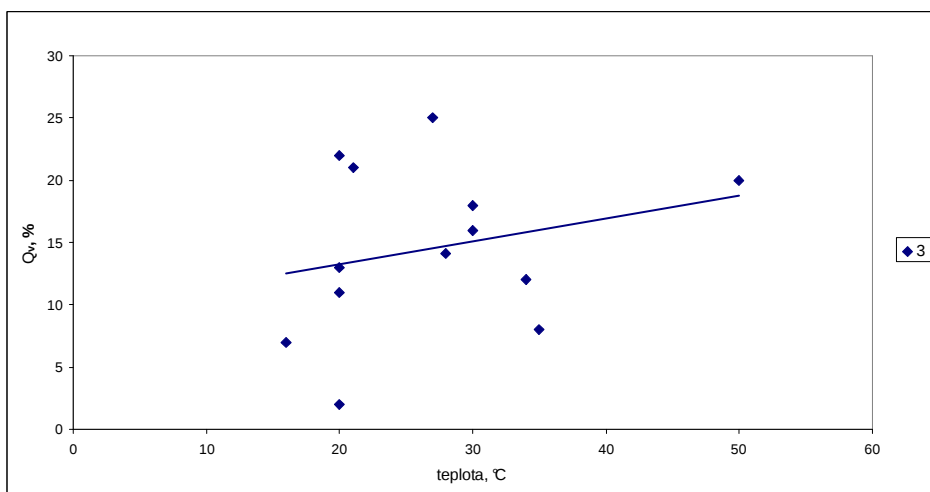
2.3.5 Výsledky vybraných korelací

V tab. 2.29 jsou uvedeny **výsledky závislosti veličin stavu oleje a veličin stavu izolace vodičů** pro **naměřené** veličiny. Jsou předloženy dvojice veličin, pro které byl koeficient korelace minimálně u pěti transformátorů $\geq |0,7|$. Je třeba zdůraznit, že transformátory 1 a 2 mají tři vinutí, ostatní pouze dvě. Proto u transformátorů 1 a 2 je méně zkoumaných veličin, které se dají porovnat s ostatními transformátory. V tabulce je také označen způsob zapojení vinutí transformátorů, při kterém byly veličiny měřeny.

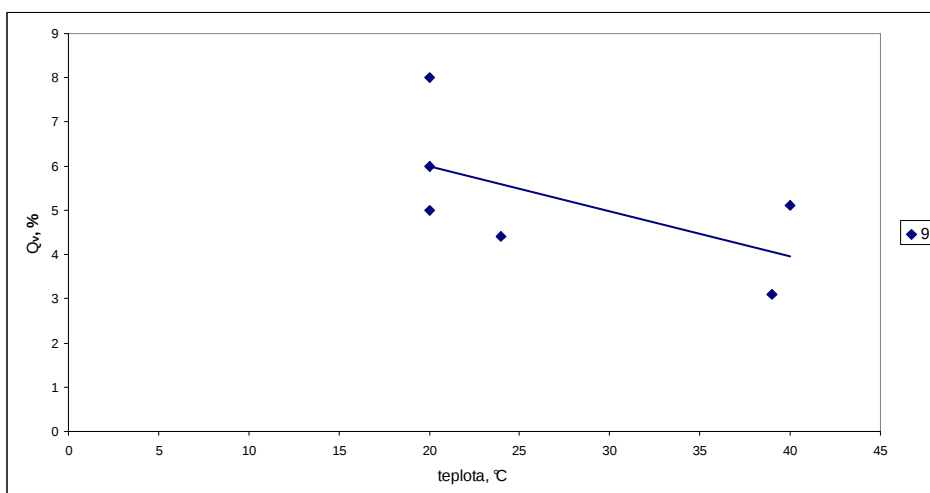
Z tabulky také vyplývá, že jedna veličina stavu oleje může záviset na více veličinách stavu izolace vodičů a dále i na jedné, ale v různých zapojeních vinutí transformátoru. Toto lze sledovat např. u veličiny:

ρ_{20} na veličině τ v zapojení V:N a N:V nebo
 σ na veličině P_i v zapojení V:N a N:V.

V tabulce se **nevyskytuje žádná závislost plynu** na elektrické veličině. Je to proto, že žádná nesplňovala podmínku, že u pěti transformátorů je hodnota koeficientu korelace $\geq |0,7|$. Za zmínku však stojí, že u plynu $\sum C_X H_Y$ byl koeficient korelace u čtyř transformátorů $\geq |0,7|$ a u dvou v rozmezí $|0,5-0,6|$.



Obr. 2.105 Závislost obsahu vody (Q_v) na teplotě (proloženo lineárně) u transformátoru 3



Obr. 2.106 Závislost obsahu vody (Q_v) na teplotě (proloženo lineárně) u transformátoru 9

V tab. 2.30 jsou uvedeny výsledky korelací **veličin stavu oleje a veličin stavu izolace vodičů** pro **upravené soubory**, při stejných podmínkách, tedy minimálně u pěti transformátorů hodnota koeficientu byla $\geq |0,7|$. Jak je vidět z tab. 2.29 a tab. 2.30 výsledky se změnily. Ze získaných výsledků vyplývá, že pro určitou veličinu stavu oleje v závislosti na veličině stavu izolace vodičů **nezávisí na způsobu zapojení vinutí transformátorů**. Toto lze sledovat např. u veličiny:

**ρ_{20} v závislosti na veličině C_x nebo u veličiny
 σ v závislosti na veličině R_{15} a P_i .**

Tab. 2.29 Korelace veličin stavu oleje a veličin stavu izolace vodičů

Veličiny stavu oleje a plyny	Veličiny stavu izolace vodičů	Koeficient korelace parametrů Transformátor								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
ϵ_{r20}	N:V τ			-0,786	-0,964	-0,805	-0,829	0,835	0,632	
ϵ_{r20}	N:V R_{60}			-0,779	-0,910	-0,804	-0,829	0,834	0,634	
ρ_{70}	V:N τ				-0,982	0,715	-0,757	-0,832	-0,664	-0,966
ρ_{70}	V:N R_{60}				-0,998	0,716	-0,757	-0,831	-0,663	-0,966
ρ_{70}	N:V τ				-0,966	0,715	-0,757	-0,832	-0,664	-0,966
ρ_{70}	N:V R_{60}				-0,997	0,716	-0,757	-0,831	-0,663	-0,966
ρ_v	N:k C_x	-0,836				0,534	-0,828	-0,912	0,931	-0,883
σ	V:N R_{15}			-0,750	0,951		-0,845		0,937	-0,940
σ	V:N P_i				-0,767		0,909	0,834	-0,746	-0,915
σ	N:V P_i				0,993		0,909	0,834	0,962	-0,915

Rovněž bylo zjištěno, že nezávisí u veličin stavu oleje: tg_{20} , tg_{70} a tg_{90} na teplotě, tedy je možné tyto veličiny z hlediska závislosti na veličinách stavu izolace vodičů považovat za rovnocenné.

Tab. 2.30 Korelace veličin stavu oleje a veličin izolace vodičů pro upravené soubory

Veličiny stavu oleje a plyny	Veličiny stavu izolace vodičů	Koeficient korelace parametrů Transformátor								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
tg_{20}	V:N C_x	0,702	0,914				0,999	0,867	-0,781	
tg_{70}	V:N C_x	0,975	0,700			0,895	0,998	0,938		
tg_{90}	V:N C_x	0,961	0,718			0,941	0,998	0,945		
ϵ_{r20}	N:V R_{60}			-0,779	0,805	-0,804	-0,829	0,834	0,634	
ϵ_{r20}	N:k C_x			0,837	-0,990	0,789	-0,683	-0,996	0,976	
ρ_{20}	V:N C_x	-0,784	-0,859			-0,802	0,954	0,987		0,535
ρ_{20}	V:N+k C_x			-0,856		-0,775	0,959	0,883	-0,839	
ρ_{20}	N:k C_x			-0,923		-0,931	0,956	0,919		0,996
ρ_{70}	V:N τ				-0,982	0,715	-0,757	-0,832	-0,664	-0,966
ρ_{70}	N:V τ				-0,966	0,715	-0,757	-0,832	-0,664	-0,966
ρ_{70}	N:V R_{60}				-0,997	0,716	-0,757	-0,831	-0,663	-0,966
ρ_{90}	V:N C_x	-0,631	-0,921			-0,834	0,994	0,995	-0,735	0,515
ρ_v	N:k C_x			0,777		0,534	-0,828	-0,912	0,931	-0,883
σ	V:N R_{15}			-0,728	0,951		-0,845		0,937	-0,940
σ	V:N P_i			0,586	-0,767		0,909	0,834	-0,746	-0,915
σ	N:V R_{15}			0,862	0,931		-0,845		0,937	-0,940
σ	N:V+k R_{15}			0,821	0,979		-0,804		0,766	-0,546
σ	N:V P_i			-0,508	0,993		0,909	0,834	-0,817	-0,915

I v tomto případě zmíněné podmínky nesplnila žádná korelace plynu a veličiny stavu izolace vinutí. Avšak, pokud snížíme počet transformátorů na čtyři, dostaneme hned tři plyny:

CH_4 v závislosti na C_x při zapojení V:N,

C_2H_6 v závislosti na C_x při zapojení V:N+k,
N v závislosti na τ při zapojení V+k.

Účelem výše uvedených rozborů bylo zjistit korelace **veličin stavu oleje a veličin stavu izolace vodičů**. Toto bylo vedeno myšlenkou, že by se prokázané korelace dalo využít v diagnostice ke zjištění stavu izolačního systému olej-papír. Jinak řečeno, změřením nějaké veličiny stavu izolace vodičů by se mohlo snáze usuzovat na stav izolačního systému transformátoru. Je všeobecně známo, že měření veličin stavu izolace vodičů je v praxi jednodušší, než měření veličin stavu oleje (nemusí se odebírat olej, provádět jeho rozbor, atd.). Vzhledem k tomu, že realizovaný experiment nějaké výsledky naznačil, jedná se o určitý slibný příslib k řešení tohoto problému. Lze tedy konstatovat, že zjištěných korelací u souboru změřených veličin:

**ρ_{20} a τ v zapojení V:N a N:V nebo
 σ a p_i v zapojení V:N a N:V,**

by se dalo využít k řešení výše uvedeného problému. Jedná se o zjištění nové a původní.

2.3.6 Shrnutí výsledků

Nejdůležitější výsledky z kap. 2.3 lze shrnout do následujících bodů:

- Pro jednotlivé veličiny byly získány v souvislosti s rozбором **časové závislosti** veličin stavu oleje **rovnice proložení přímkou, polynomem 2. a 3. stupně**. Rovnice proložení jsou uvedeny v tab. 2.1 (Příloha 2). Kvalita proložení byla hodnocena **koeficientem korelace**. Tento byl v podstatné většině případů největší u proložení polynomem 3. stupně. U některých veličin lze však sledovat skutečnost, že je také vhodné proložení polynomem 2. stupně. Konkrétně se např. jedná o veličinu tg_{20} u transformátoru 7, veličinu tg_{70} u transformátoru 3, 4, 7 a 9, veličinu tg_{90} u transformátoru 4, veličinu ϵ_{r20} u transformátoru 4 a 7, apod. Podrobnosti jsou uvedeny v tab. 2.18.
- Obecně lze konstatovat, že **vyřazení extrémních hodnot** v rozboru **časové závislosti** veličin stavu oleje **má vliv na hodnocení výsledků**. Ovlivněny byly rovnice proložení grafů a jejich koeficienty korelace, podrobnosti ukazuje tab. 2.1 (Příloha 2), tab. 2.2 (Příloha 2), tab. 2.18 a tab. 2.19. Po vyřazení extrémních hodnot se zmenšila v 18 případech hodnota koeficientů korelace a v 18 případech se tato hodnota zvětšila. Toto se zvláště projevilo u transformátoru 2 (u 9 případů zvětšení) a u transformátoru 1 (u 3 případů zvětšení a u 6 pokles).
- Byly studovány **závislosti veličin stavu oleje mezi sebou**. Byla zjištěna např. závislost ϵ_{r20} na ρ_v , což lze považovat za významné. Při rozboru výsledků lze také sledovat, že na sobě závisí **stejně veličiny při různých teplotách**. Tento fakt se dá očekávat a získané výsledky ho jenom potvrzují. Z praktického hlediska uvedené a potvrzené zjištění má značný význam, neboť umožňuje měřit **méně veličin**. Podobné závěry byly získány pro soubory upravené.
- V souvislosti s rozбором časové závislosti **čísla kyselosti (ČK)** pro **naměřená data** je opět nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně. Je však také možné konstatovat, že i ostatní proložení vykazují vyšší hodnotu koeficientu korelace, např. v případě polynomu 2. stupně u transformátorů 1, 2, 3, 6, 8 a 9. Podobné lze

sledovat i v případě lineárního proložení (toto je významný rozdíl oproti zatím doposud uvedeným výsledkům). Podobné závěry platí i pro **upravené soubory**.

- V souvislosti s rozбором časové závislosti **průrazného napětí** (U_p) pro **naměřená data** je opět nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně. Získaný koeficient korelace je např. pro transformátor 4 0,8930, pro transformátor 6 0,9918 a pro transformátor 8 je hodnota koeficientu korelace 0,9562. Je však také možné konstatovat, že např. v případě polynomu 2. stupně u některých transformátorů lze vypočítat vysokou hodnotu koeficientu korelace (např. pro transformátor 6 je koeficient korelace 0,9998, což je stejná hodnota jako v případě proložení polynomem 3. stupně, pro transformátor 8 je hodnota koeficientu korelace rovná hodnotě 0,8299). Další podrobnosti lze sledovat v tab. 2.4 (Příloha 2) a koeficienty korelace v tab. 2.23.
- I u časové závislosti **průrazného napětí** (U_p) **upravených souborů** lze konstatovat, že byly ovlivněny rovnice proložení grafů a jejich koeficienty korelace, podrobnosti ukazuje tab. 2.4 (Příloha 2), tab. 2.5 (Příloha 2), tab. 2.23 a tab. 2.4. Úpravou souborů vyřazením extrémních hodnot nemá vliv na skutečnost, že nejvhodnější proložení průběhů hodnot je polynomem 3. stupně. Je však také možné sledovat, že např. v případě polynomu 2. stupně u některých transformátorů lze vypočítat vysokou hodnotu koeficientu korelace.
- Pro **průrazné napětí** (U_p) a **naměřená data v závislosti na jednotlivých plynech** je opět nejvhodnější proložení polynomem 3. stupně. Podrobnosti lze sledovat především v tab. 2.25, kde jsou uvedeny koeficienty korelace pro jednotlivé plyny a proložení. Vysokou hodnotu koeficientu korelace lze sledovat např. u plynu CH_4 a transformátoru 8 (0,9726), u plynu C_4H_{10} a opět transformátoru 8 (0,9830) nebo u plynů Q_p a zase u transformátoru 8 (0,9946).
- Vyřazení extrémních hodnot pro **průrazné napětí** (U_p) a **naměřená data v závislosti na jednotlivých plynech** má vliv na hodnocení výsledků. U upravených souborů byly ovlivněny rovnice proložení grafů a jejich koeficienty korelace tab. 2.6 (Příloha 2), tab. 2.7 (Příloha 2), 2.25 koeficient kore25, tab. 2.26 a to tak, že v 18 případech koeficient korelace stoupl a v 7 klesl. Tato úprava nemá vliv na skutečnost, že nejvhodnější proložení průběhů hodnot je polynomem 3. stupně.
- Rozbor závislosti **průrazného napětí** (U_p) **na obsahu vody rozpuštěné v izolačním oleji** (Q_v) je přehledně uveden v tab. 2.27. Zde jsou koeficienty korelace pro jednotlivá proložení. Z výsledků vyplývá, že nejvhodnější proložení průběhů závislostí je polynom 3. stupně. Vysokou hodnotu koeficientu korelace pro toto proložení vykazuje např. transformátor 7 (0,8754).
- Z rozboru závislosti **průrazného napětí na obsahu vody rozpuštěné v izolačním oleji** pro upravené soubory vyplývá, že nejvhodnější proložení průběhů je opět polynomem 3. stupně. Odstraněním extrémních hodnot se změnila rovnice proložení i koeficienty korelace (převážně klesla jejich hodnota). Např. u transformátoru 7 je nyní hodnota koeficientu korelace 0,8754.
- Je rozebrána **teplotní závislost obsahu vody rozpuštěné v oleji**. Jsou vysvětleny některé pojmy, např. voda **rozpuštěná, volná, emulgovaná** a voda **reakční**. Je

konstatováno, že **obsah vody rozpuštěné v oleji** je **dáno množstvím** vody emulgované a rozpuštěné. Právě emulgovaná voda silně **ovlivňuje** průrazné napětí. Je také rozebráno **rozložení vody v izolaci** transformátoru a dále také **souvislost obsahu vody s teplotou** v transformátoru. Z hlediska teplotní závislosti obsahu vody jsou popsány dva konkrétní příklady, a to transformátor 3 a 9.

- Rozborem výsledků korelací **veličin stavu oleje a veličin stavu izolace vodičů** bylo zjištěno, že existuje korelace veličin:

$$\rho_{20} \text{ a } \tau \text{ v zapojení V:N a N:V nebo } \sigma \text{ a } P_i \text{ v zapojení V:N a N:V.}$$

Jedná se o zjištění nové a původní.

- I v případě vybraných **ostatních výsledků** je nutné konstatovat, že v diagnostice transformátorů je nutné vycházet z komplexního hodnocení jednotlivých veličin. Jak dokazují i výsledky této disertační práce, izolované posouzení jen jedné nebo několika veličin by mohlo vést k nesprávným závěrům. Podobně jako bylo konstatováno v případě závěrů v kap. 2.2.4, je samozřejmé, že např. správně změřená extrémní hodnota určitého veličiny může signalizovat nějaký vážný problém v transformátoru. Proto jsou stanoveny i **kriteriální hodnoty** všech měřených a vyhodnocovaných veličin, jak lze sledovat např. v [19].

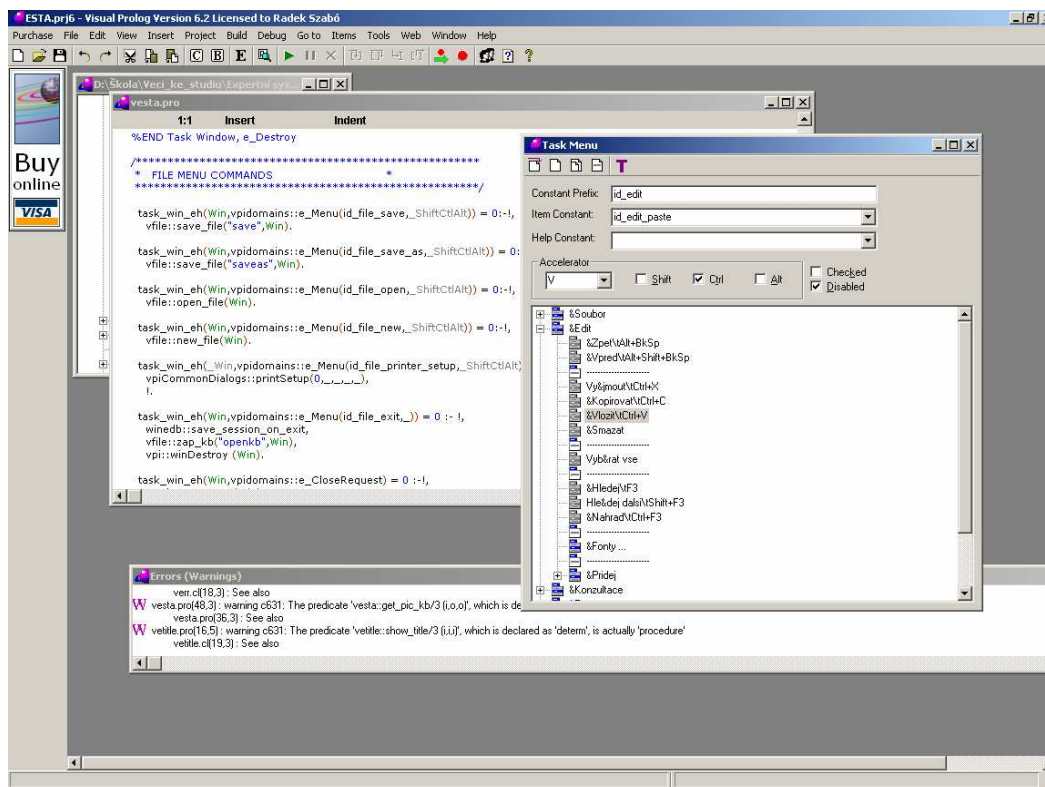
2.4 Expertní systém

V této kapitole je pozornost soustředěna na vývoj, tvorbu a ověření expertního diagnostického systému. Je poukázáno na **zvolené prostředky pro tvorbu expertního systému** (kap. 2.4.1), na **popis a vlastnosti** vytvořeného **expertního systému** (kap. 2.5.2) a nakonec na **ověření expertního systému** na konkrétních diagnostických datech (kap. 2.5.3). V kap. 2.5.4 je provedeno **shrnutí výsledků**.

2.4.1 Zvolené prostředky pro tvorbu expertního systému

Pro realizaci expertního systému byl zvolen **prázdný expertní systém ESTA** (Expert System for Text Animation) vytvořený firmou Prolog Development Center. Tento systém má pravidlovou reprezentaci znalostí, komunikuje s jinými programy. Výrobce poskytuje uživatelskou podporu a tvorba báze znalostí je intuitivní. Jádrem prázdného expertního systému ESTA je vytvořeno v **programovém prostředí Visual Prolog 6**.

Visual Prolog 6 je programovací jazyk, který vychází z programovacích jazyků PDC Prolog a Turbo Prolog. Je to programovací jazyk, který v sobě kombinuje prvky logického, funkcionálního a objektově orientovaného programování. Jeho velkou výhodou je grafické vývojové prostředí pojmenováno jako VDE (Visual Development Environment). Zahrnuje v sobě grafické programové rutiny Windows pro tvorbu GUI i vlastní grafické rutiny. Tento přístup napomáhá k rychlému vývoji, testování a modifikaci aplikací. Neméně užitečným nástrojem je debugger, který pomáhá při ladění zdrojového kódu. Volně dostupná verze vývojového prostředí Visual Prolog 6 je pro akademické účely poskytována zdarma. Oproti komerční verzi je však ochuzena o některé vlastnosti, jako například využití COM komponent a psaní CGI aplikací pro publikování na internetových stránkách [49].



Obr. 2.107 Ukázka grafického vývojového prostředí programu Visual Prolog 6 [15]

2.4.2 Popis a vlastnosti expertního systému

Zpracování a vyhodnocování měření na transformátorech se provádí ručně porovnáním podle předepsaných předpisů, což je časově náročné. Jedna z možností usnadnění a zrychlení hodnocení provozního stavu výkonových transformátorů je v použití expertního systému.

V disertační práci vytvářený expertní systém je **pravidlový expertní systém**, který slouží pro hodnocení provozního stavu elektrických netočivých strojů, a to výkonových transformátorů.

Jak již bylo napsáno dříve, expertní systém vychází z prázdného expertního systému ESTA. Tato koncepce umožňuje, aby sloužil kromě samotného nástroje pro konzultaci, také jako prostředí pro editaci a vkládání nových znalostí do báze znalostí.

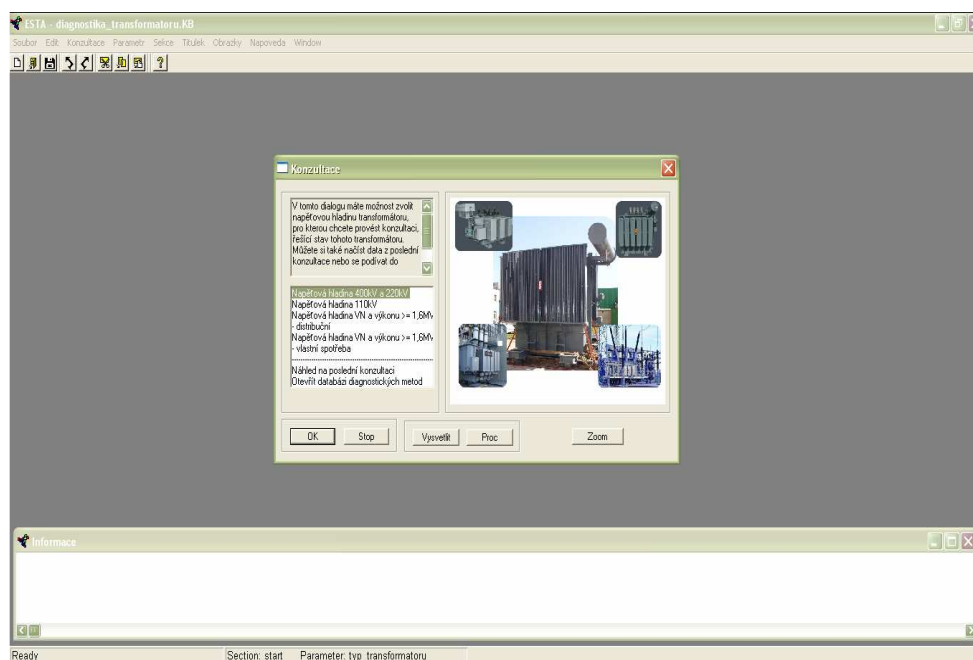
Vlastnosti expertního systému:

- podpora DDE (Dynamic Data Exchange) komunikace s jinými aplikacemi ve Windows
- možnost odkazu na soubory s nápovědou systému Windows (přípona .hlp), čímž se otevírají možnosti, jak zvýšit věrohodnost expertízy
- možnost vložení obrázků do dialogu a podporuje tzv. „klikací mapy“, to znamená, že obrázek je rozdělen na několik částí a uživatel má možnost kliknutím na vybranou část ovlivnit směr, kam se bude další konzultace ubírat
- automatická kontrola syntaxe báze znalostí při ukončení její editace
- expertní systém nabízí pomocí vysvětlovacího modulu prostředky pro vysvětlení PROČ byla položena určitá otázka, nebo JAK dospěl k určitému závěru

V prostředí expertního systému probíhá vlastní tvorba báze znalostí, která tvoří z prázdného expertního systému expertní systém problémově orientovaný. Také v něm probíhá konzultace uživatele s expertním systémem.

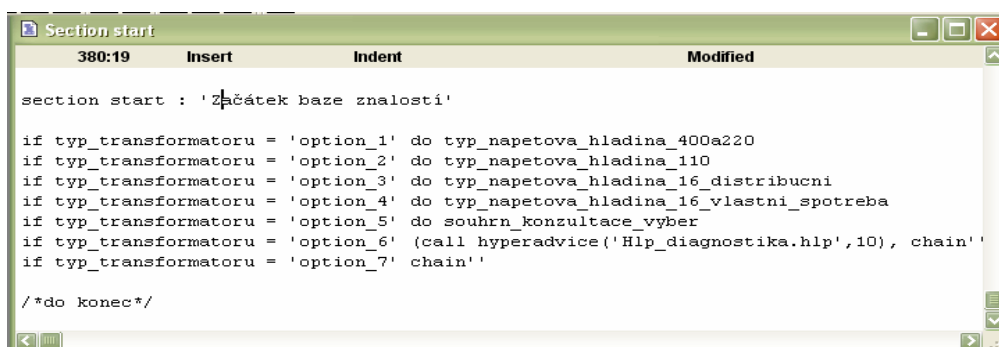
Toto prostředí je zobrazené na obr. 2.108. Prostředí má klasický vzhled, který je typický pro všechny aplikace operačního systému Windows. V horní části obrazovky je umístěna lišta nástrojů a nabídky s uschovanými nástroji pro tvorbu a ladění báze znalostí i pro řízení průběhu konzultace. Ve spodní části obrazovky se nachází stavový řádek pro zobrazování informací o právě probíhající akci a střední část slouží jako pracovní prostor pro tvorbu a editaci báze znalostí ale i pro vlastní konzultaci.

Báze znalostí obsahuje pravidla o jednotlivých diagnostických zkouškách a pravidla pro vyhodnocení kritériálních hodnot diagnostických veličin. Hlavními stavebními prvky jsou sekce a parametry.



Obr. 2.108 Prostředí expertního systému

V sekcích jsou obsažena pravidla, která vedou uživatele skrze bázi znalostí a také pomocí nich řeší expertní systém daný problém. Na základě těchto pravidel je vydáno konečné doporučení, může však dojít k přesunu do další sekce nebo dokonce do jiné báze znalostí. Každá sekce začíná slovem „section“, podle čehož řídicí mechanismus pozná, že bude následovat seznam pravidel s přesně definovanou syntaxí. První sekce v bázi znalostí musí být nazvána „start“, tuto sekci vidíme na obr. 2.109. Od této sekce začíná expertní systém konzultaci.



Obr. 2.109 Příklad zápisu sekce

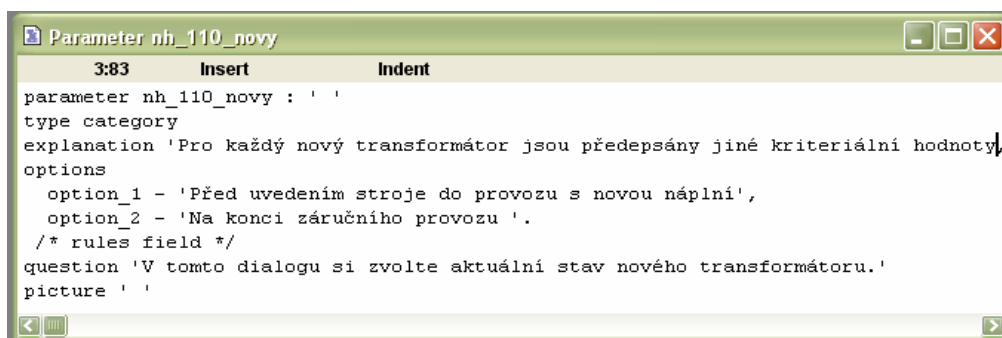
Zde se program následně větví pomocí příkazu „do“. Zápis pravidel v sekcích je velmi přehledný a omezuje se pouze na nezbytné informace o vstupních parametrech a struktuře báze znalostí. Ostatní znaky důležité z hlediska zpracování inferenčním mechanismem, jako je ukončení jednotlivých řádků, oddělovací znaky vestavěných procedur aj., jsou automaticky přidány až při konečném uložení báze znalostí do textového souboru s příponou „. Kb“.

Parametry jsou proměnné, které jsou nositelkami veškerých informací v expertním systému.

Parametry mohou být čtyř typů:

- text
- číslo (integer, real)
- boolean (true / false / unknown)
- seznam

Hodnota parametru je buďto získána od uživatele nebo odvozena na základě jiných parametrů. Typ parametru boolean se v expertním systému nevyskytuje, je nahrazen parametrem typu seznam obr. 2.110.



Obr. 2.110 Příklad struktury syntaxe parametru typu seznam

Zápis každého parametru začíná slovy „parametr“, podle kterého inferenční mechanismus rozpozná, že dále budou definovány vlastnosti týkající se proměnné. Ta bude použita v některé sekci. Za ním následuje název parametru a za slovem „type“ je uveden jeden z typů proměnné. Dále následuje slovo „explanation“, za kterým se do uvozovek uvádí text, který se zobrazí při stisku tlačítka „Vysvětlit“ při konzultaci.

Tento text slouží jako nápověda pro uživatele, objasňuje význam dialogu, který je mu předkládán. Následná část uvozená slovem „options“ je specifická pouze pro proměnnou typu seznam a jedná se o seznam použitých položek označených „option_1“ až „option_n“. Za slovo „question“ se do uvozovek zapisuje text, který se zobrazí během konzultace pokud je třeba znát hodnotu parametru. Jestliže je žádoucí do dotazu na hodnotu parametru vložit obrázek, tak se jeho jméno vloží do uvozovek za slovo „picture“.

Expertní systém Trafo dokáže komunikovat s ostatními aplikacemi v operačním systému MS Windows pomocí protokolu DDE (Dynamic Data Exchange). Pomocí tohoto protokolu lze komunikovat se všemi aplikacemi, které tento typ protokolu podporují, jako např. tabulkový procesor MS Excel, textovým procesorem MS Word aj. Informace z aplikací lze pomocí protokolu DDE přijímat i ukládat. Protokol je založen na posílání zpráv v architektuře klient/server. Expertní systém jako klient může s DDE serverem navázat jedno nebo více spojení, která jsou na sobě zcela nezávislá.

Veškerá obsluha komunikace klient/server se skládá z následujících funkcí a procedur [15]:

dde_initiate(App,Topic)

Pomocí této funkce je iniciována vlastní komunikace. „App“ je jméno aplikace, která slouží jako DDE server. „Topic“ je řetězec, kterým je komunikace identifikována.

Příklad:

funkce CH := dde_initiate('excel','test.xls') zajistí navázání komunikace s programem MS Excel a otevřeným souborem test.xls. Přitom je proměnné „CH“, které se říká číslo kanálu, přiřazena číselná hodnota, kterou se bude tato komunikaci identifikovat mezi ostatními.

dde_execute(number,string)

Tato procedura odesílá textový řetězec (příkaz) přes číslo kanálu „CH“ svému partnerovi, se kterým komunikuje.

Příklad:

procedura dde_execute(CH,['OPEN(\\\"test.xls\\\"')]) odešle příkaz programu MS Excel, aby otevřel soubor s názvem test.txt.

dde_poke(CH,Item,Data)

Tato procedura odešle textový řetězec „Data“ na místo, které je charakterizováno textovou proměnnou „Item“. Komunikace probíhá přes číslo kanálu „CH“.

Příklad:

procedura dde_poke(CH,'R2C4','ahoj') vloží do buňky aplikace MS Excel o souřadnicích R2C2 text „ahoj“.

dde_request(CH,Item)

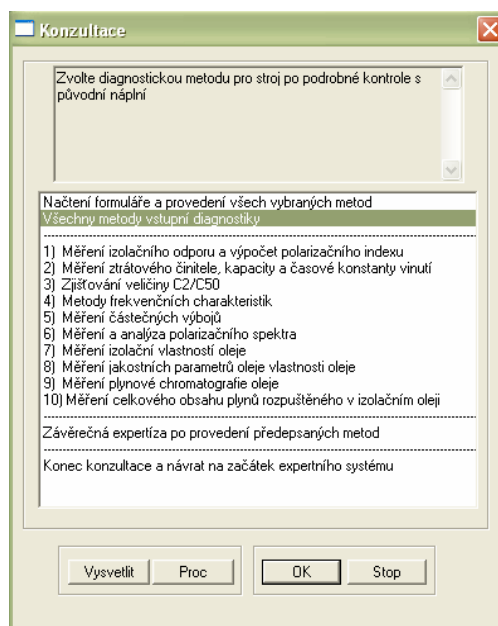
Tato funkce je používána pro načtení dat ze serveru. „Item“ charakterizuje řetězec, který se má načíst, resp. pokud se jedná o komunikaci s MS Excel, tak souřadnice buňky, odkud se má její obsah načíst. CH je číslo kanálu, přes který probíhá komunikace.

Příklad:

příkaz assign X := dde_request(CH,'R2C5') přiřadí textové proměnné „X“, která je definována v bázi znalostí obsah buňky o souřadnicích R2C5. Komunikace je opět identifikována číslem kanálu „CH“.

dde_terminate(CH)

Tato procedura ukončí spojení mezi klientem a serverovou aplikací, které je identifikováno číslem kanálu „CH“.



Obr. 2.111 Dialogové okno pro volbu diagnostické metody

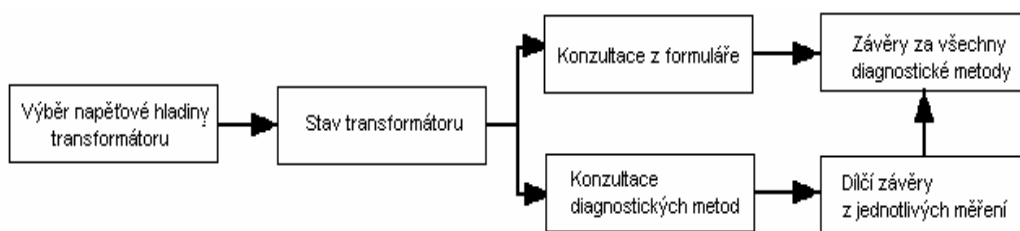
Komunikační protokol DDE je v expertním systému ES využit při načítání hodnot diagnostických veličin z formuláře, na základě kterých je vygenerována závěrečná expertíza.

Daný expertní systém tvoří 28ází znalostí, uspořádaných do stromové struktury. Tento způsob tvorby báze znalostí, tedy její rozdělení na menší funkční části, byl vybrán z důvodu větší přehlednosti a snadnější orientaci. V těchto bázích znalostí je celkem pravidel, odkazů na vnější zdroje, kontextových odkazů, cílů a obrázků. Při tvorbě expertního systému se vycházelo především z těchto zdrojů:

- české i mezinárodní technické normy
- podnikové normy společnosti ČEZ
- odborná literatura
- výsledky konzultací s expertem

Na obr. je znázorněna struktura báze znalostí pro výkonové transformátor o napěťové hladině 400 a 220kV, 110kV a vn s výkonem $\geq 1,6$ MVA a to pro transformátory distribuční a vlastní spotřeby.

Jak je patrné z obr. 2.114, každý výkonový transformátor je rozdělen dle provozního stavu, tedy na nový stroj, stroj po podrobné kontrole, stroj v provozu a náhradní stroj. Pro každý tento provozní stav byl stanoven soubor předepsaných diagnostických metod.

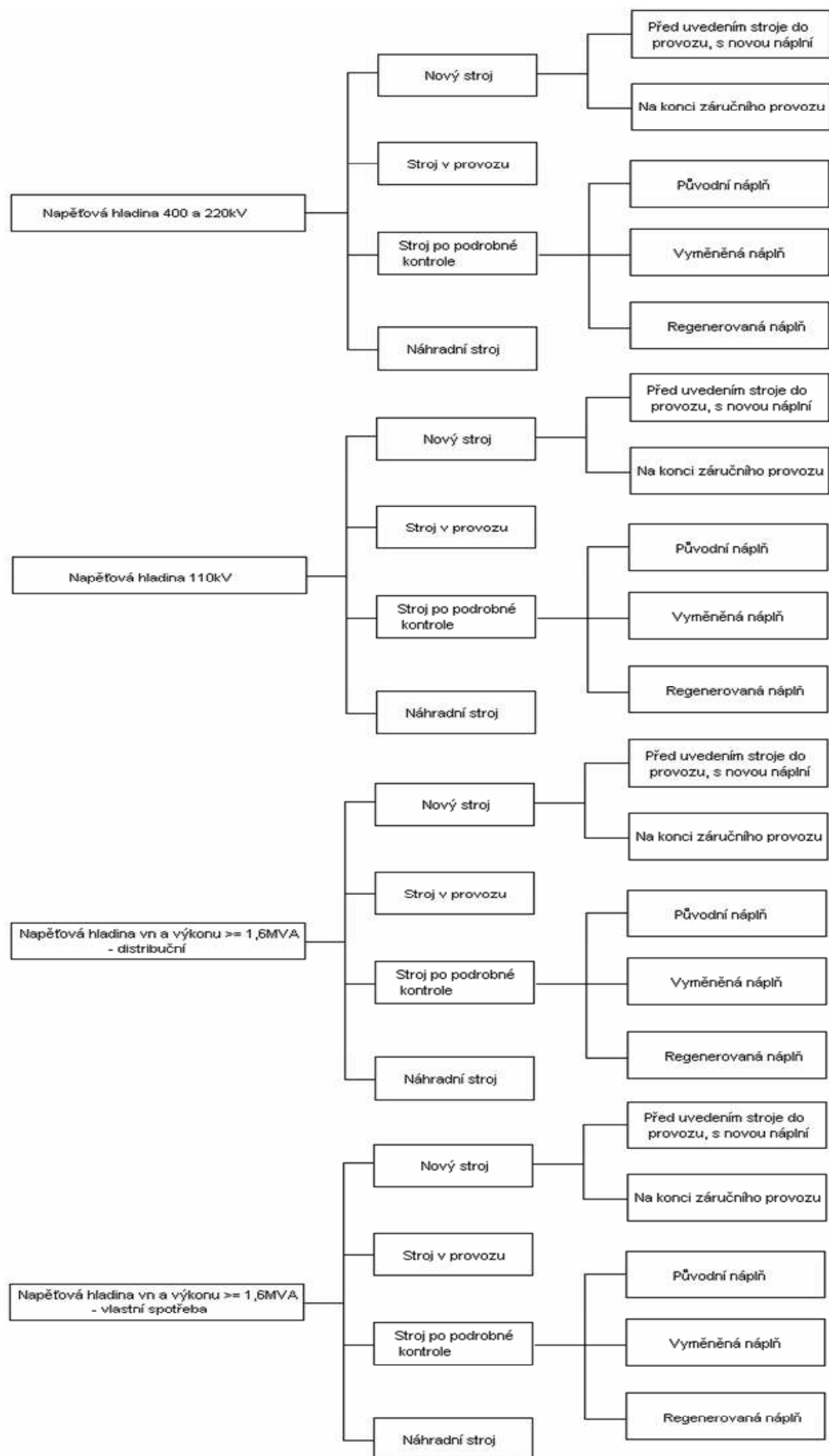


Obr. 2.112 Průběh konzultace v expertním systému



Obr. 2.113 Dialogové okno pro volbu provozního stavu

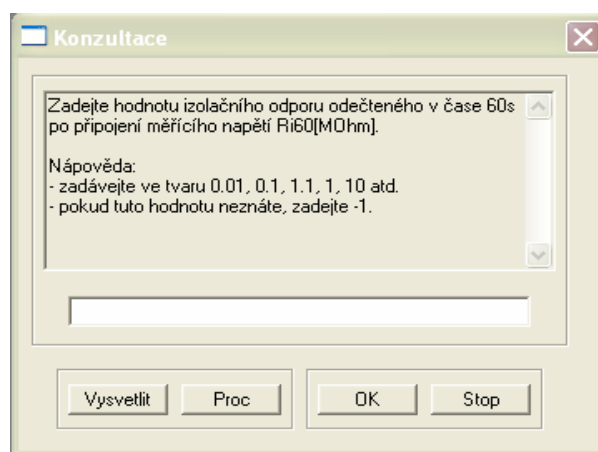
Metody obsažené v tomto souboru je nutné všechny provést, aby bylo ohodnocení stavu izolačního systému výkonového transformátoru co nejpřesnější. Tyto soubory jsou doplněny o doplňkové diagnostické metody, které není nutno provést, ale slouží ke zpřesnění závěrů z předepsaných diagnostických metod.



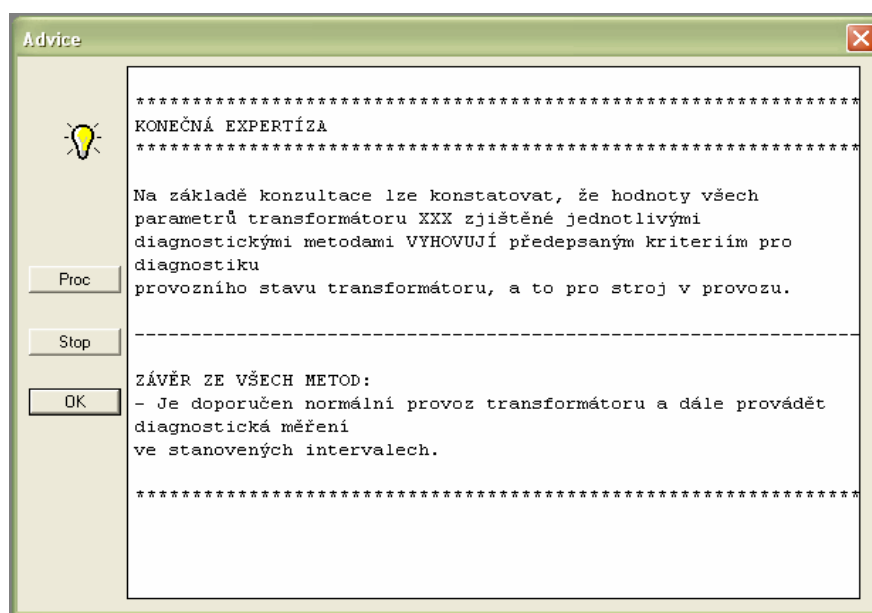
Obr. 2.114 Struktura báze znalostí

Konzultace uživatele s expertním systémem probíhá podle schématu na obr. 2.112. Nejprve je nutné zvolit transformátor dle napěťové hladiny – obr. 2.108, který bude předmětem konzultace, potom je třeba vybrat provozní stav (obr. 2.113) tohoto transformátoru. Po zadání těchto nezbytných údajů si uživatel zvolí z dialogového okna na obr. způsob, jakým chce provést konzultaci stavu provozního stavu systému transformátoru.

První způsob je “Načtení formuláře a provedení vybraných metod“. U tohoto způsobu se zadají numerické hodnoty parametrů souboru diagnostických metod do formuláře. Z formuláře se hodnoty načtou do expertního systému. Následně se provedou vybrané diagnostické metody včetně závěrečné expertízy.



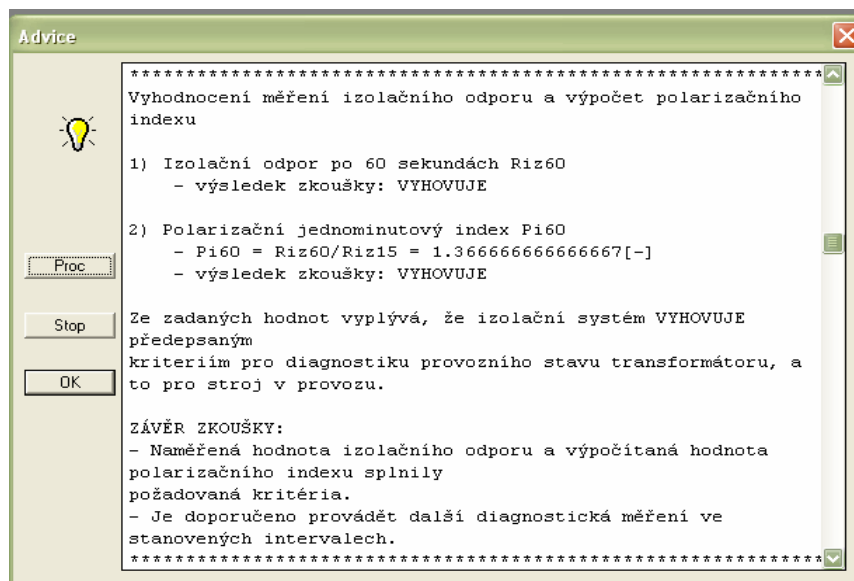
Obr. 2.115 Dialogové okno pro zadání hodnot izolačního odporu



Obr. 2.116 Závěrečné doporučení transformátoru v provozu

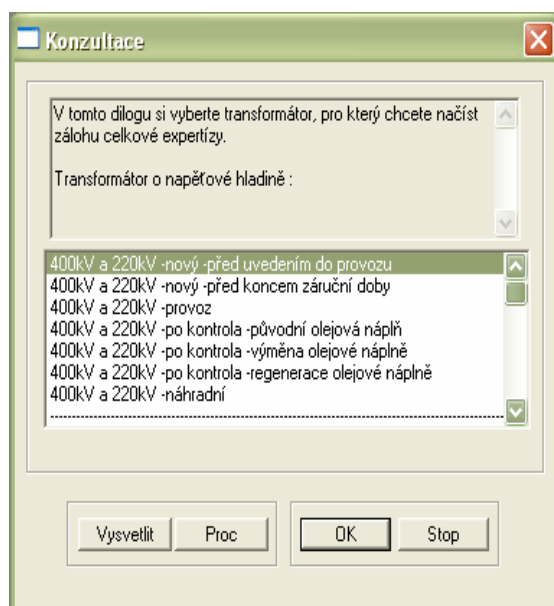
Poslední způsob je vybrat si jednu konkrétní diagnostickou metodu a po zadání potřebných hodnot dostaneme závěrečné vyhodnocení dané metody obr. 2.117. Po vygenerování závěrečné expertízy jsou ohodnocené parametry uloženy do souboru, aby na jejich základě mohla být konzultace kdykoli zopakována.

Další způsob je zvolit si “Všechny předepsané diagnostické metody“ (Text 3). Expertní systém provede konzultaci celého souboru diagnostických metod, postupně pomocí dialogových oken obr. 2.115.



Obr. 2.117 Vyhodnocení diagnostické metody měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu

Na konci diagnostiky dojde k vygenerování závěrečného doporučení obr. 2.116.



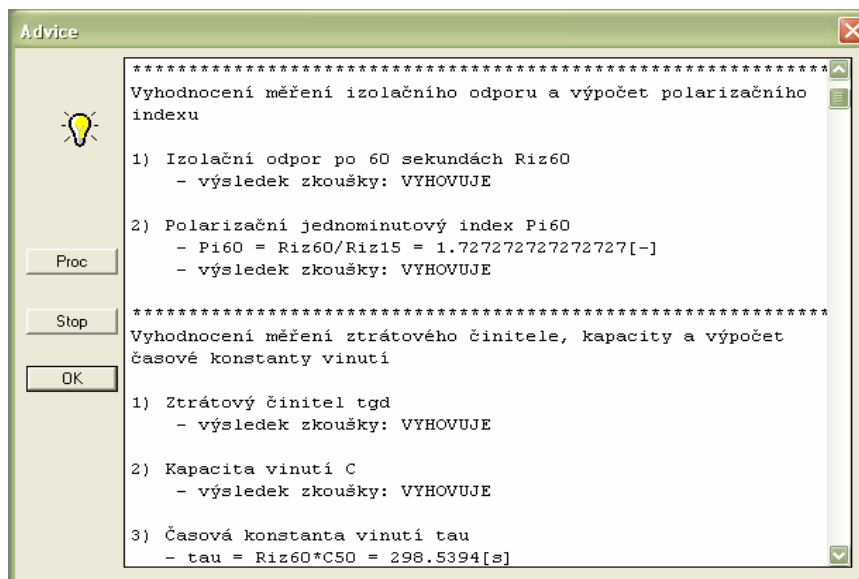
Obr. 2.118 Dialogové okno pro výběr požadované konzultace

Zpětné prohlédnutí některé z posledních konzultací lze vyvolat tak, že se zvolí “Náhled na poslední konzultaci“ v dialogovém okně na obr. 2.118. Následně je třeba vybrat požadovanou napětovou hladinu a provozní stav dané konzultace z dialogového okna na obr. 2.118 a vygeneruje se požadovaná konzultace zobrazená v Textu 4.

2.4.3 Ověření expertního systému

V této kapitole jsou ukázány některé výstupy expertního systému popsaného výše.

V určitých provozních stavech transformátoru se používají různé diagnostické metody. V **Textu 1** je uveden přehled diagnostických metod, rozdělený podle napět'ových hladin a příslušných provozních stavů.



Obr. 2.1 Náhled na poslední konzultaci transformátoru v provozu o napět'ové hladině 400 kV

V **Textu 2** je provedena konzultace transformátoru o napět'ové hladině 400kV pro nový stroj na konci záručního provozu. Konkrétně se jedná o transformátor 1 ve 3 roce provozu. Konzultace byla provedena pomocí načtení formuláře.

V **Textu 3** je provedena konzultace transformátoru o napět'ové hladině 110kV v provozu. Konkrétně se jedná o transformátor 5 ve 46. roce provozu. Konzultace, byla provedena pomocí "Všechny předepsané diagnostické metody". V A)-H) je dílčí vyhodnocení jednotlivých diagnostických metod tohoto transformátoru, a to měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu, měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí, zjišťování veličiny C2/C50, metody frekvenčních charakteristik, měření částečných výbojů, měření a analýza polarizačního spektra, měření izolační vlastností oleje, měření jakostních parametrů oleje, měření plynové chromatografie oleje a měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji. V I) je konečné vyhodnocení všech výše zmíněných diagnostických metod transformátoru 5.

V **Textu 4** je zpětně vyvolaná poslední konzultace transformátoru o napět'ové hladině 400kV pro stroj po podrobné kontrole s původní náplní. Konkrétně se jedná o transformátor 8.

Text 1: Seznam předepsaných diagnostických metod transformátorů

A) Transformátor o napět'ové hladině 400 a 220kV:

Soubor předepsaných diagnostických metod pro nový stroj před uvedením do provozu:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Metody frekvenčních charakteristik
- 5) Měření částečných výbojů
- 6) Měření a analýza polarizačního spektra
- 7) Měření izolační vlastností oleje

- 8) Měření jakostních parametrů oleje
- 9) Měření plynové chromatografie oleje
- 10) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji.

Soubor předepsaných diagnostických metod pro nový stroj před koncem záruční doby

- 1) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji
- 2) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 3) Měření izolační vlastností oleje
- 4) Měření plynové chromatografie oleje

Soubor předepsaných diagnostických metod pro stroj v provozu:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření částečných výbojů
- 5) Měření izolační vlastností oleje
- 6) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 7) Měření plynové chromatografie oleje
- 8) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji

Doplňkové metody diagnostiky:

- 9) Měření a analýza polarizačního spektra
- 10) Metody frekvenčních charakteristik

Soubor předepsaných diagnostických metod pro stroj po podrobné kontrole s původní náplní:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Metody frekvenčních charakteristik
- 5) Měření částečných výbojů
- 6) Měření a analýza polarizačního spektra
- 7) Měření izolační vlastností oleje
- 8) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 9) Měření plynové chromatografie oleje
- 10) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji

Soubor předepsaných diagnostických metod pro stroj po podrobné kontrole s regenerovanou náplní:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření izolační vlastností oleje
- 5) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 6) Měření plynové chromatografie oleje
- 7) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji

Soubor předepsaných diagnostických metod pro stroj po podrobné kontrole s vyměněnou náplní:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření izolační vlastností oleje
- 5) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje

- 6) Měření plynové chromatografie oleje
- 7) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji

Soubor předepsaných diagnostických metod pro náhradní stroj:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření částečných výbojů
- 5) Měření izolační vlastností oleje
- 6) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 7) Měření plynové chromatografie oleje
- 8) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji

Doplňkové metody diagnostiky:

- 9) Měření a analýza polarizačního spektra
- 10) Metody frekvenčních charakteristik

B) Transformátor o napětové hladině 110kV:

Soubor předepsaných diagnostických metod pro nový stroj před uvedením do provozu:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Metody frekvenčních charakteristik
- 5) Měření částečných výbojů
- 6) Měření a analýza polarizačního spektra
- 7) Měření izolační vlastností oleje
- 8) Měření jakostních parametrů oleje
- 9) Měření plynové chromatografie oleje
- 10) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji:

Soubor předepsaných diagnostických metod pro nový stroj před koncem záruční doby

- 1) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji
- 2) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 3) Měření izolační vlastností oleje
- 4) Měření plynové chromatografie oleje

Soubor předepsaných diagnostických metod pro stroj v provozu:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření částečných výbojů
- 5) Měření izolační vlastností oleje
- 6) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 7) Měření plynové chromatografie oleje
- 8) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji

Doplňkové metody diagnostiky:

- 9) Měření a analýza polarizačního spektra
- 10) Metody frekvenčních charakteristik

Soubor předepsaných diagnostických metod pro stroj po podrobné kontrole s původní náplní:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí

- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření izolační vlastností oleje
- 5) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 6) Měření plynové chromatografie oleje
- 7) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji

Soubor předepsaných diagnostických metod pro stroj po podrobné kontrole s regenerovanou náplní:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření izolační vlastností oleje
- 5) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 6) Měření plynové chromatografie oleje
- 7) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji

Soubor předepsaných diagnostických metod pro stroj po podrobné kontrole s vyměněnou náplní:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření izolační vlastností oleje
- 5) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 6) Měření plynové chromatografie oleje
- 7) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji

Soubor předepsaných diagnostických metod pro náhradní stroj:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření částečných výbojů
- 5) Měření izolační vlastností oleje
- 6) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 7) Měření plynové chromatografie oleje

Doplňkové metody diagnostiky:

- 8) Měření a analýza polarizačního spektra
- 9) Metody frekvenčních charakteristik

C) Transformátor o napětíové vn s výkonem $\geq 1,6$ MVA:

Soubor předepsaných diagnostických metod pro nový stroj před uvedením do provozu:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření izolační vlastností oleje
- 5) Měření jakostních parametrů oleje
- 6) Měření plynové chromatografie oleje
- 7) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji

Soubor předepsaných diagnostických metod pro nový stroj před koncem záruční doby

- 1) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji
- 2) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 3) Měření izolační vlastností oleje

4) Měření plynové chromatografie oleje

Soubor předepsaných diagnostických metod pro stroj v provozu:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření izolační vlastností oleje
- 5) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 6) Měření plynové chromatografie oleje

Doplňkové metody diagnostiky:

- 7) Měření a analýza polarizačního spektra
- 8) Metody frekvenčních charakteristik

Soubor předepsaných diagnostických metod pro stroj po podrobné kontrole s původní náplní:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření izolační vlastností oleje
- 5) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 6) Měření plynové chromatografie oleje

Soubor předepsaných diagnostických metod pro stroj po podrobné kontrole s regenerovanou náplní:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření izolační vlastností oleje
- 5) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 6) Měření plynové chromatografie oleje

Soubor předepsaných diagnostických metod pro stroj po podrobné kontrole s vyměněnou náplní:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření izolační vlastností oleje
- 5) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 6) Měření plynové chromatografie oleje

Soubor předepsaných diagnostických metod pro náhradní stroj:

- 1) Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu
- 2) Měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí
- 3) Zjišťování veličiny C2/C50
- 4) Měření izolační vlastností oleje
- 5) Měření jakostních parametrů oleje vlastnosti oleje
- 6) Měření plynové chromatografie oleje

Doplňkové metody diagnostiky:

- 7) Měření a analýza polarizačního spektra
- 8) Metody frekvenčních charakteristik

Text 2: Náhled na konzultaci transformátoru pro napětovou hladinu 400kV

pro nový stroj na konci záručního provozu

KONEČNÁ EXPERTÍZA

Datum měření: x.x.1981

Vyhodnocení MĚŘENÍ CELKOVÉHO OBSAHU PLYNŮ ROZPUŠTĚNÉHO V IZOLAČNÍM OLEJI

- 1) Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji Qp
- výsledky měření: VYHOVUJE

Vyhodnocení MĚŘENÍ JAKOSTNÍCH PARAMETRŮ OLEJE

- 2) Číslo kyselosti ČK
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 3) Ztrátový činitel při 90 °C $\text{tg}d_{90}$
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 4) Relativní mezipovrchové napětí na rozhraní olej-voda σ
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 5) Vnitřní rezistivita při laboratorní teplotě ρ_{20}
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 6) Obsah inhibitoru Qi
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

Vyhodnocení MĚŘENÍ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ OLEJE

- 7) Obsah vody rozpuštěné v izolačním oleji Qv
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 8) Průrazné napětí Up
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

Vyhodnocení MĚŘENÍ PLYNOVÉ CHROMATOGRAFIE OLEJE

- 9) Vodík H₂
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 10) Uhlovodíky C_xH_y
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 11) Acetylén C₂H₂
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 12) Oxid uhelnatý CO
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

Na základě konzultace lze konstatovat, že hodnoty všech parametrů transformátoru 1 zjištěné jednotlivými diagnostickými metodami VYHOVUJÍ kritériím předepsaným pro diagnostiku provozního stavu transformátoru, a to pro nový stroj na konci záruky.

ZÁVĚR ZE VŠECH METOD:

- Je doporučen normální provoz transformátoru a dále provádět diagnostická měření ve stanovených intervalech.

Text 3: Náhled na konzultaci transformátoru o napět'ové hladině 110kV

A) 1/8 MĚŘENÍ IZOLAČNÍHO ODPORU A VÝPOČET POLARIZAČNÍHO INDEXU

Vyhodnocení měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu

- 1) Izolační odpor po 60 sekundách Riz60
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 2) Polarizační jednominutový index Pi60
- $Pi60 = Riz60/Riz15 = 1.850467289719626[-]$
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

Ze zadaných hodnot vyplývá, že izolační systém VYHOVUJE předepsaným kritériím pro diagnostiku provozního stavu transformátoru, a to pro stroj v provozu.

ZÁVĚR ZKOUŠKY:

- Naměřená hodnota izolačního odporu a vypočítaná hodnota polarizačního indexu splnily požadovaná kritéria.
- Je doporučeno provádět další diagnostická měření ve stanovených intervalech.

B) 2/8 MĚŘENÍ ZTRÁTOVÉHO Činitele, KAPACITY A ČASOVÉ KONSTANTY VINUTÍ

Vyhodnocení měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí

- 1) Ztrátový činitel tgδ
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 2) Kapacita vinutí C
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 3) Časová konstanta vinutí tau
- $\tau = Riz60 * C50 = 31949279.9999999[s]$
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

Ze zadaných hodnot vyplývá, že izolační systém VYHOVUJE předepsaným kritériím pro diagnostiku provozního stavu transformátoru, a to pro stroj v provozu.

ZÁVĚR ZKOUŠKY:

- Naměřené hodnoty ztrátového činitele, kapacity vinutí a výpočet časové konstanty vinutí splnil požadovaná kritéria.
- Je doporučeno provádět další diagnostická měření ve stanovených intervalech.

C) 3/8 ZJIŠŤOVÁNÍ VELIČINY C2/C50

Vyhodnocení zjišťování veličiny C2/C50

Zjišťování veličiny C2/C50

- $C2/C50 = ((C2-C50)/C50)+1 = 1.00223602484472[-]$
- výsledky měření: VYHOVUJE

Ze zadaných hodnot vyplývá, že izolační systém VYHOVUJE předepsaným kritériím pro diagnostiku provozního stavu transformátoru, a to pro stroj v provozu.

ZÁVĚR ZKOUŠKY:

- Zjišťování veličiny C2/C50 splnilo požadovaná kritéria.
- Je doporučeno provádět další diagnostická měření ve stanovených intervalech.

D) 4/8 MĚŘENÍ ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ

Vyhodnocení měření částečných výbojů

Měření částečných výbojů q

- výsledky měření: VYHOVUJE

Ze zadaných hodnot vyplývá, že izolační systém VYHOVUJE předepsaným kritériím pro diagnostiku provozního stavu transformátoru, a to pro stroj v provozu.

ZÁVĚR ZKOUŠKY:

- Měření částečných výbojů splnilo požadovaná kritéria.
- Je doporučeno provádět další diagnostická měření ve stanovených intervalech.

E) 5/8 MĚŘENÍ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ OLEJE

Vyhodnocení měření izolačních vlastností oleje

1) Obsah vody rozpuštěné v izolačním oleji Qv

- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

- 2) Průrazné napětí U_p
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

Ze zadaných hodnot vyplývá, že izolační systém VYHOVUJE předepsaným kritériím pro diagnostiku provozního stavu transformátoru, a to pro stroj v provozu.

ZÁVĚR ZKOUŠKY:

- Měření izolačních vlastností oleje splnilo požadovaná kritéria.
- Je doporučeno provádět další diagnostická měření ve stanovených intervalech.

F) 6/8 MĚŘENÍ JAKOSTNÍCH PARAMETRŮ OLEJE

Vyhodnocení měření jakostních parametrů oleje

- 1) Číslo kyselosti ČK
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 2) Ztrátový činitel při 90 °C $\text{tg}\delta_{90}$
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 3) Relativní mezipovrchové napětí na rozhraní olej-voda sigma
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 4) Vnitřní rezistivita při laboratorní teplotě ρ_{20}
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 5) Obsah inhibitoru Qi
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

Ze zadaných hodnot vyplývá, že izolační systém VYHOVUJE předepsaným kritériím pro diagnostiku provozního stavu transformátoru, a to pro stroj v provozu.

ZÁVĚR ZKOUŠKY:

- Měření jakostních parametrů oleje splnilo požadovaná kritéria.
- Je doporučeno provádět další diagnostická měření ve stanovených intervalech.

G) 7/8 MĚŘENÍ PLYNOVÉ CHROMATOGRAFIE OLEJE

Vyhodnocení měření plynové chromatografie oleje

- 1) Vodík H_2
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE
- 2) Uhlovodíky C_xH_y
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

- 3) Acetylen C₂H₂
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

Ze zadaných hodnot vyplývá, že izolační systém VYHOVUJE předepsaným kritériím pro diagnostiku provozního stavu transformátoru, a to pro stroj v provozu.

ZÁVĚR ZKOUŠKY:

- Měření plynové chromatografie oleje splnilo požadovaná kritéria.
- Je doporučeno provádět další diagnostická měření ve stanovených intervalech.

H) 8/8 MĚŘENÍ CELKOVÉHO OBSAHU PLYNŮ ROZPUŠTĚNÉHO V IZOLAČNÍM OLEJI

Vyhodnocení měření celkového obsahu plynu rozpuštěného v izolačním oleji

Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji Q_p

- výsledky měření: VYHOVUJE

Ze zadaných hodnot vyplývá, že izolační systém VYHOVUJE předepsaným kritériím pro diagnostiku provozního stavu transformátoru, a to stroj v provozu.

ZÁVĚR ZKOUŠKY:

- Měření celkového obsahu plynu rozpuštěného v izolačním oleji splnilo požadovaná kritéria.
- Je doporučeno provádět další diagnostická měření ve stanovených intervalech.

I) Konečná expertíza

KONEČNÁ EXPERTÍZA

Na základě konzultace lze konstatovat, že hodnoty všech parametrů transformátoru transformátor 5 zjištěných jednotlivými diagnostickými metodami VYHOVUJÍ předepsaným kritériím pro diagnostiku provozního stavu transformátoru, a to pro stroj v provozu.

ZÁVĚR ZE VŠECH METOD:

- Je doporučen normální provoz transformátoru a dále provádět diagnostická měření ve stanovených intervalech.

Text 4: Vyvolaný náhled na poslední konzultaci

Vyhodnocení měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu

1) Izolační odpor po 60 sekundách Riz60
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

2) Polarizační jednominutový index Pi60
- $Pi60 = Riz60/Riz15 = 3.8[-]$
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

Vyhodnocení měření ztrátového činitele, kapacity a výpočet časové konstanty vinutí

1) Ztrátový činitel tgδ
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

2) Kapacita vinutí C
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

3) Časová konstanta vinutí tau
- $\tau = Riz60 \cdot C50 = 597.588[s]$
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

Vyhodnocení zjišťování veličiny C2/C50

Zjišťování veličiny C2/C50

- $C2/C50 = ((C2 - C50)/C50) + 1 = 1.008076923076923[-]$
- výsledky měření: VYHOVUJE

Vyhodnocení měření izolačních vlastností oleje

1) Obsah vody rozpuštěné v izolačním oleji Qv
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

2) Průrazné napětí Up
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

Vyhodnocení měření jakostních parametrů oleje

1) Číslo kyselosti ČK
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

2) Ztrátový činitel při 90 °C tgδ90
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

3) Relativní mezipovrchové napětí na rozhraní olej-voda sigma
- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

4) Vnitřní rezistivita při laboratorní teplotě t20

- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

5) Obsah inhibitoru Qi

- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

Vyhodnocení měření plynové chromatografie oleje

1) Vodík H₂

- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

2) Uhlovodíky C_xH_y

- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

3) Acetylen C₂H₂

- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

4) Oxid uhelnatý CO

- výsledek zkoušky: VYHOVUJE

Vyhodnocení měření celkového obsahu plynu rozpuštěného v izolačním oleji

Měření celkového obsahu plynů rozpuštěného v izolačním oleji Q_v

- výsledky měření: VYHOVUJE

2.4.4 Shrnutí výsledků

Nejdůležitější výsledky z kap. 2.4 lze shrnout do následujících bodů:

- Byl vytvořen pravidlový expertní systém, pro diagnostiku transformátorů.
- Vytvořený expertní systém byl ověřen na vybraném datovém souboru.

3 Přínos práce

V disertační práci byly **specifikovány příčiny poruch**, které mají vliv na **spolehlivost výkonových olejových transformátorů**. Na základě rozboru poruch z dostupné databáze poruch a studia české i zahraniční literatury bylo konstatováno, že nejčastější příčinou poruch je vadná izolace, chyba výroby, zkrat, nesprávná údržba, přetížení, kontaminace oleje, požár a exploze, blesk, povodeň a vlhkost. Nejvíce zasaženou částí transformátoru je **izolační systém**, a proto je nutné sledovat jeho **stav**. Z tohoto důvodu byla pozornost v další činnosti soustředěna na podrobný popis **základních vlastností izolačního systému**, a to především na izolační systém **olej-papír**.

Protože se disertační práce vzhledem k zaměření školícího pracoviště věnuje **diagnostice**, byl dále vytvořen **seznam** v průmyslové praxi používaných diagnostických metod a u každé popsány příslušné **diagnostické veličiny**. Diagnostické veličiny byly pro potřeby této disertační práce a v souladu se stavem vědomostí v dané oblasti **rozděleny** na tři skupiny, a to: **veličiny plynové chromatografie**, **veličiny stavu oleje** a **veličiny stavu izolace vodičů**.

Následně se disertační práce věnuje **popisu a rozboru** jednotlivých diagnostických veličin. K rozboru je využívána dostupná databáze z diagnostických šetření na transformátorech, která byla poskytnuta v rámci řešení projektu MPO FI-IM5/173 (řešeno 2008-2010), kde školící pracoviště je spoluřešitelem. Nejprve byla pozornost věnována veličinám plynové chromatografie. Byly popsány a podrobně vyhodnoceny všechny dostupné veličiny **plynové chromatografie**. Jednalo se především o rozbor vybraných vlastností časových řad a rozbor teplotní závislosti plynů. Zvláštní důraz byl soustředěn na **poměry plynů** a jejich využití v diagnostice transformátorů. Cílem bylo shromáždit dostupné skutečnosti a tyto i **vyhodnotit** s využitím konkrétních dat a vzájemně výsledky **porovnat**. Významnou skutečností je v souvislosti s uvedeným **zjištění**, že by bylo pro potřeby průmyslové praxe možné provést **redukci počtu** měřených a vyhodnocovaných plynů. Rovněž přínosný byl popis vybraných časových závislostí plynů na základě **chemických reakcí**.

Následně činnost v disertační práci směřovala na **popis a rozbor** veličin **stavu oleje** a případně veličin **stavu izolace vinutí**. Pozornost byla soustředěna na některé vybrané problémy a především se jednalo o veličiny stavu oleje, neboť veličinám stavu izolace je především na jiných pracovištích věnována náležitá pozornost, a proto tyto nejsou předmětem našeho většího zájmu. Tedy konkrétně se jednalo o popis a rozbor **časových závislostí veličin stavu oleje**, **časovou závislost čísla kyselosti**, **závislost průrazného napětí** a **teplotní závislost obsahu vody rozpuštěné v oleji**. Významným zjištěním v této oblasti je především skutečnost, že některé veličiny stavu oleje mezi sebou významně korelují, což by mohlo v budoucnu přispět k **redukci počtu** měřených a vyhodnocovaných veličin. Závěr činnosti v souvislosti s diagnostickými veličinami byl věnován popisu a důkladnému rozboru korelací veličin stavu oleje a veličin stavu izolace vinutí. Opět přínosem je zjištění, že existují některé **korelace**, které by se daly vhodným způsobem využít v průmyslové praxi v diagnostických šetřeních.

Značná část disertační práce byla věnována **vytvoření diagnostického expertního systému**, který by byl vhodný pro diagnostiku stavu transformátorů. Tento expertní systém byl vytvořen a následně **ověřen** na datovém souboru. V disertační práci jsou uvedeny konkrétní **konzultace** expertního systému.

Na základě navržených a zpracovaných cílů předkládané disertační práce považuje autorka práce za **vlastní a původní tyto výsledky a přínosy:**

- **Provedení podrobného rozboru vlastností veličin plynové chromatografie**
- **Provedení podrobného rozboru vlastností poměru plynů v plynové chromatografii a srovnání dosažených výsledků**
- **Zjištění, že pro potřeby průmyslové praxe by bylo možné provést v plynové chromatografii redukci počtu měřených a vyhodnocovaných plynů**
- **Provedení podrobného rozboru vlastností veličin stavu oleje**
- **Zjištění, že pro potřeby průmyslové praxe by bylo možné provést u veličin stavu oleje redukci počtu měřených a vyhodnocovaných veličin**
- **Zjištění, že pro potřeby průmyslové praxe by bylo možné využít ověřených korelací některých veličin stavu oleje a stavu izolace vinutí**
- **Vytvoření a ověření diagnostického expertního systému**

Závěr

Předkládaná disertační práce se soustřeďuje na řešení problematiky, která není zatím příliš v literatuře uceleně popsána a rozebrána. Tomu odpovídají i stanovené cíle práce. Tyto byly formulovány především proto, aby se získaly odpovědi na otázky, které nejsou zatím příliš jasné a vyvolávají i časté diskuze. Za účelem splnění cílů práce bylo nutné vykonat značné množství výpočtů, z nichž jen část je i v práci podrobněji prezentována.

Na základě získaných výsledků je nutné konstatovat známou skutečnost, že i diagnostika transformátorů nemůže vycházet pouze z měření a hodnocení jen jedné nebo několika málo diagnostických veličin. I analýza veličin plynové chromatografie a veličin stavu oleje je toho důkazem. Při této příležitosti je nutné vzpomenout přesnost diagnostických šetření, neboť tato má své meze a má podstatný vliv na získané výsledky. I přes uvedené je nutné také vyzvednout získané výsledky, které by po důkladném dopracování a uvedení do průmyslové praxe mohly přinést značné ekonomické a organizační výhody a i by usnadnily vlastní diagnostická šetření.

Práce se zaměřuje jednak na popis a rozbor diagnostických veličin plynové chromatografie a veličin stavu oleje, jednak na tvorbu a ověření diagnostického expertního systému. Prvně jmenované je klasická činnost, která patří do diagnostiky transformátorů. Každý získaný a ověřený závěr je značně přínosný a v technické praxi žádaný. Druhá část problematiky je poněkud složitější a směřuje k vytvoření pokročilého diagnostického systému. Tento systém by v budoucnu umožnil odpovědět na poměrně složité otázky, které jsou spojeny se spolehlivostí transformátorů. S tím také souvisí i možnost řízení stárnutí transformátorů, oblast plánované údržby, apod. Jedná se tedy o značně složitý komplex otázek, které samozřejmě nejsou v předkládané disertační práci nijak zmíněny nebo dokonce řešeny. Byl však v disertační práci položen základ tvorby diagnostického systému, který bude určitě v budoucnu využit při tvorbě již zmíněného pokročilého diagnostického systému.

V práci není nijak zdůrazňováno, že obdržené závěry mají platnost za daných podmínek. V této práci však bylo sledováno jediné. Získat výsledky, které by pomohly popsat a třeba i vysvětlit některé ne příliš známé skutečnosti.

V práci řešená problematika zapadá do odborných problémů, které jsou předmětem zájmu školícího pracoviště. Předkládaná disertační práce se snaží přispět k diagnostice výkonových transformátorů, které pracují v energetickém provozu. Ve své podstatě je tedy řešena spolehlivost transformátorů, jak bylo zmíněno v úvodní kapitole této disertační práce.

Seznam použitých zdrojů

- [1] ARTBAUER, Ján; ŠEDOVIČ, Juraj.; ADAMEC, Vladimír. *Izolanty a izolácie*. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1969. 616 s. 63-060-69.
- [2] BARTÁK, Alexandr; MRAVINÁČ, Luděk; NEUMANN, Jacek. *Diagnostika poruch izolací elektrických strojů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984. 254 s. 04-523-84.
- [3] BERKA, Petr. *Tvorba znalostních systémů*. 1. vyd. Praha: VŠE, 1994. 190 s. ISBN 80-7079-676-9.
- [4] BLAŽEK, Josef; RÁBL, Vratislav. *Základy zpracování a využití ropy*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. 254 s. ISBN 80-7080-619-2.
- [5] *Business Case for Transformer On-line Monitoring EPRI Diagnostic Conference July 2006 - souhrn materiálů*. 2006.
- [6] HAMMER, Miloš. *Metody umělé inteligence v diagnostice elektrických strojů*. 1. vyd. Praha: BEN, 2009. 399 s. ISBN 978-80-7300-231-2.
- [7] HASSDENTEUFEL, Josef; KVĚT, Karel a kolektiv. *Elektrotechnické materiály*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1967. 859 s. 04-540-67.
- [8] JANOUŠEK, Vladimír. *Studium hodnocení degradace celulosového materiálu*. Pardubice: Univerzita Pardubice. Fakulta chemicko-technologická. Katedra analytické chemie. 1994. 113 s. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Kotrlý S., CSc.
- [9] KARPÍŠEK, Zdeněk. *Matematika IV: Statistika a pravděpodobnost*. Brno: CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2522-9.
- [10] KOCMAN, Vladimír. *Fyzika a technologie elektrotechnických materiálů*. Praha: SNTL, 1971. 526 s. 05-104-71.
- [11] *Materiály ze zasedání mezinárodní odborné organizace a jejich komisí - CIGRE A2, 2004-2009. Transformátory*.
- [12] MENTLÍK, Václav. *Diagnostika elektrických zařízení*. 1. vyd. Praha: BEN, 2008. 439 s. ISBN 978-80-7300-232-9.
- [13] OLEJ, Vladimír; PETR, Pavel. *Expertní systémy*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1997. 257 s. ISBN 80-7194-095-X.
- [14] POPPER, Mikuláš; KELEMEN, Jozef. *Expertné systémy*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1989. 358 s. ISBN 80-05-00051-0.
- [15] SZABÓ, Radek. *Expertní systémy v diagnostice izolačních systémů elektrických točivých strojů*. Brno: VUT v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. 2005. 114 s. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Hammer M., CSc.
- [16] ŠIMKOVÁ, Martina. *Diagnostika transformátorů v průmyslové praxi - Písemné pojednání ke státní doktorské zkoušce*. Brno: VUT v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. 2008. 34 s. Vedoucí práce doc. Ing. Hammer M., CSc.
- [17] VLADAŘ, Jaroslav; ZELENKA, Jiří. *Elektrotechnika a silnoproudá elektronika*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986. 479 s. 04-545-86.
- [18] ZÁLIŠ, Karel. *Částečné výboje v izolačních systémech elektrických strojů*. 1. vyd. Praha: Academia, 2005. 135 s. ISBN 80-200-1358-X.
- [19] ČEZ, a.s., PODNIKOVÁ NORMA evid.č. 00/05. *Profylaktika elektrických strojů netočivých - výkonové transformátory*. Praha: ČEZ, a.s., 2006. 93 s.
- [20] ČSN 351082. *Výkonové transformátory, Metody oteplovacích zkoušek*. Úřad pro vynálezy a normalizaci, 1987. 32 s.
- [21] ČSN 351090. *Metoda měření dielektrických parametrů izolace výkonových transformátorů*. Úřad pro vynálezy a normalizaci, 1987. 8 s.

- [22] ČSN 500001. Papírenské názvosloví - Vlákny a jejich vlastnosti. Praha: Úřad pro vynálezy a normalizaci, 1959. 9 s.
- [23] ČSN 500002. Papírenské názvosloví – Papíry, kartony, lepenky. Praha: Úřad pro vynálezy a normalizaci, 1958. 38 s.
- [24] ČSN 503175. Lepenka pro elektrotechniku – Všeobecná ustanovení. Praha: Úřad pro normalizaci, 1960. 10s.
- [25] ČSN 503179. Lepenka pro elektrotechniku – Transformátorová lepenka. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1987. 8 s.
- [26] ČSN EN 60641-2 ed. 2. Lesklá lepenka a obyčejná lepenka pro elektrotechnické účely. Praha: Český normalizační institut, 2005. 28 s.
- [27] Barborka, Vít. *Diagnostika transformátorových olejů v návaznosti na prodloužení životnosti transformátorů* [online]. ELEKTRO odborný časopis pro elektrotechniku. 2010. [cit.2010-04-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25085>.
- [28] BOLDIŠ, Petr. *Bibliografické citace dokumentu podle CSN ISO 690 a CSN ISO 690-2: Část 1 – Citace: metodika a obecná pravidla* [pdf]. Poslední revize 11.11. 2004. Dostupné z: <<http://www.boldis.cz/citace/citace1.pdf>>.
- [29] *Celulóza* [online]. Poslední revize 11.6.2010. [cit.2009-06-22]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Celulóza>>.
- [30] ČERNÝ, Jaroslav. *Vlastnosti motorových olejů Díl sedmý - Oxidační stabilita, nitrace oleje* [online]. [cit.2010-04-17]. Dostupné z: <http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju7>.
- [31] *Difuze v procesu hoření* [online]. Poslední revize 11. 3. 2009 [cit.2010-04-17]. Dostupné z: <<http://vec.vsb.cz/cs/doc/difuze.pdf>>.
- [32] DIGIORGIO, Joseph B. *Dissolved Gas Analysis of Mineral Oil Insulating Fluids* [online]. Poslední revize 25. 12. 2008 [cit.2010-04-17]. Dostupné z: <<http://www.nttworldwide.com/docs/dga2102.pdf>>.
- [33] FIROUZIFAR, S.; MAHMOUDI, J. *Assessment of Power Transformer cooler with FEMLAB* [online]. Poslední revize 21. 12. 2007 [cit.2010-04-17]. Dostupné z: <<http://www.ep.liu.se/ecp/027/019/ecp072719.pdf>>.
- [34] *FIST 3-30 Transformer Maintenance, Facilities – Instructions, Standards, and techniques* [online]. Poslední revize 5. 8. 2009 [cit.2010-04-17]. Dostupné z: <http://www.usbr.gov/power/data/fist/fist3_30/fist3_30.pdf>.
- [35] *Guideline for life management techniques for power transformers* [online]. Poslední revize 30. 10. 2006 [cit.2010-04-17]. Dostupné z: <<http://www.transformerscommittee.org/info/F06/F06-DGA.pdf>>.
- [36] HOSSEINI, S.M.H.; VAKILIAN, M; GHAREHPETIAN G. B. *An Improved MTL Modeling of Transformer Winding*. [online]. Poslední revize 1. 6. 2007 [cit.2010-04-17]. Dostupné z: <http://www.ipst.org/techpapers/2007/ipst_2007/papers_IPST2007/Session27/150.pdf>.
- [37] CHURÝ, Lukáš. *Umělá inteligence – 1. Programujeme* [online]. 2005, květen [cit.21.3.2008]. Dostupné z: <<http://programujte.com/index.php?akce=clanek&cl=2005052304-umela-inteligence-1>>. ISSN 1801-1586.
- [38] *Informační a expertní systémy* [online]. Poslední revize 17. 6. 2010 [cit.28.6.2010]. Dostupné z: <http://www.orgrez.cz/?section=divize_labor#iesys>.
- [39] *Kapalné a plynné izolanty* [online]. Poslední revize 26. 2. 2010 [cit.2010-04-17]. Dostupné z: <files.matematika-polenska.webnode.cz/2000004608bec88ce65/Kapalne_a_plynnne_izolanty.pdf>.

- [40] LEWAND, LANCE. *Dissolved gas analysis and the Duval Triangle* [online]. Poslední revize 30. 10. 2006 [cit.2010-04-17]. Dostupné z: <<http://www.transformerscommittee.org/info/F06/F06-DGA.pdf>>.
- [41] LEWAND, LANCE. *Techniques for Interpretation of Data for DGA From Transformers* [online]. Poslední revize 30. 10. 2006 [cit.2010-04-17]. Dostupné z: <<http://www.transformerscommittee.org/info/F06/F06-DGA.pdf>>.
- [42] MAŘÍK, Filip. *Seminární práce: pojednání o problematice kyselosti papíru – Ochrana novodobých knihovních fondů* [pdf]. Poslední revize 8. 2. 2006 [cit.2009-06-17]. Dostupné z: <www.okf.wz.cz/semin0506/marik.pdf>.
- [43] NEUMANN, Jacek. *DGA - Plynová chromatografie - příklad a možnosti hodnocení* [online]. Poslední revize 6. 10. 2008. [cit.2009-05-20]. Dostupné z: <<http://www.eldiag.cz/texty/dga.html>>.
- [44] NEUMANN, Jacek. *Chromatografický rozbor plynů z kondenzátorových průchodek obsahujících izolační olej* [online]. Poslední revize 6. 10. 2008. [cit.2009-05-20]. Dostupné z: <<http://www.eldiag.cz/texty/rozbor.html>>.
- [45] PUKEL, G.J.; MUHR, H.M.; LICK, W.: *Transformer diagnostics: Common used and new methods* [online]. [cit.2010-04-17]. Dostupné z: <https://online.tugraz.at/tug_online/voe_main2.getVollText?pDocumentNr=36607&pCurrPk=15463>
- [46] SUWARN. *Dissolved Gas Analysis of Transformer Oils: Effects of electric arc* [online]. Poslední revize 12. 9. 2006 [cit.2010-04-17]. Dostupné z: <<http://www.labplan.ufsc.br/congressos/wseas/papers/517-461.pdf>>.
- [47] TAPAN, K. Saha. *Review of Modern Diagnostic Techniques for Assessing Insulation Condition in Aged Transformers. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* [online]. 2003, Vol. 10, No. 5. [cit.2010-04-17]. Dostupné z: <<http://espace.library.uq.edu.au/eserv/UQ:9857/saha-deis-review.pdf>>.
- [48] TEDA, Jaroslav. *Expertní systémy I. Programujeme* [online]. 2008, duben [cit.21.3.2008]. Dostupné z: <<http://programujte.com/?akce=clanek&cl=2008020100-expertni-systemy-i>>. ISSN 1801-1586.
- [49] *Visual Prolog: příručka programování.* [online]. [cit. 2.3.2009]. Dostupné z: <<http://wiki.visual-prolog.com/index.php?title=Category:Tutorials>>.
- [50] *Vlastnosti papíru a jeho degradace – teoretická část* [pdf]. Poslední revize 20. 2. 2009. [cit.2009-07-02]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_vlastnosti_papiru/index.htm>
- [51] VRÁNOVÁ, Petra. *Koroze a degradace papíru* [pdf]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/3_4.pdf> [cit.2009-07-02].
- [52] *Vývoj papíru- Rožko, referát – 2. část* [online]. Poslední revize 22.4.2008 [cit.2009-06-17]. Dostupné z: <<http://cakovickyblogisek.blog.cz/0804/otazka-c-1-vyvoj-papiru-rozko-referat-2-cast>>.

Vlastní publikace

- [1] ŠIMKOVÁ, M. Diagnostika a prognostika životnosti transformátorů průmyslové praxi. In: *Sborník příspěvků 1nd Ph.D. Students Workshop*. Brno. 2007.
- [2] ŠIMKOVÁ, M. Hodnocení provozního stavu výkonových transformátorů. In: *Sborník příspěvků 2nd Ph.D. Students Workshop*. Brno. 2008.
- [3] ŠIMKOVÁ, M. Úvod do diagnostiky transformátorů. *Technická diagnostika*. 2008, roč. XVII, č.z1, s. 41-42. ISSN 1210-311X.
- [4] ŠIMKOVÁ, M.; HAMMER, M. Expertní systémy v diagnostice transformátorů. In: *TD 2008-DIAGON 2008: Sborník přednášek 31. Mezinárodní konference TD 2010-DIAGON 2010, Zlín 15.5.2008*. Zlín: Academia centrum Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. ISBN: 978-80-7318-940-2. 23-27 s.
- [5] ŠIMKOVÁ, M.; MINISTR, M.; HAMMER, M., *Expert Systems in Transformer Diagnostics*. In *Recent Advances in Mechatronics 2008-2009*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.145-150. ISBN 978-3-642-05021-3
- [6] HAMMER, M., ŠIMKOVÁ, M.; MINISTR, M.; *Artificial Intelligence in Diagnostics of Electric Machines*. In *Recent Advances in Mechatronics 2008-2009*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 139-144. ISBN 978-3-642-05021-3
- [7] ŠIMKOVÁ, M.; HAMMER, M. Diagnostické metody pro posuzování aktuálního stavu výkonových olejových transformátorů. *Technická diagnostika*. 2010, roč. IX, č.z1, s. 49. ISSN 1210-311X.
- [8] ŠIMKOVÁ, M.; HAMMER, M. Využití expertních systémů v diagnostice transformátorů. *Technická diagnostika*. 2010, roč. IX, č.z1, s. 50. ISSN 1210-311X.
- [9] ŠIMKOVÁ, M., Využití pomocných poměrů plynů v diagnostice transformátorů. In *TD 2010-DIAGON 2010: Sborník přednášek 33. Mezinárodní konference TD 2010-DIAGON 2010, Zlín 13.5.2010*. Zlín: Academia centrum Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. ISBN: 978-80-7318-940-2.
- [10] ŠIMKOVÁ, M., Vyhodnocení analýzy plynů v diagnostice výkonových olejových transformátorů. In *TD 2010-DIAGON 2010: Sborník přednášek 33. Mezinárodní konference TD 2010-DIAGON 2010, Zlín 13.5.2010*. Zlín: Academia centrum Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. ISBN: 978-80-7318-940-2.
- [11] ŠIMKOVÁ, M., Hodnocení souvislostí vybraných veličin v diagnostice transformátorů. In *TD 2010-DIAGON 2010: Sborník přednášek 33. Mezinárodní konference TD 2010-DIAGON 2010, Zlín 13.5.2010*. Zlín: Academia centrum Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. ISBN: 978-80-7318-940-2.
- [12] ŠIMKOVÁ, M.; MINISTR, M.; HAMMER, M., *Diagnostika transformátorů s využitím expertních systémů*. In: *SEKEL 2009: mezinárodní konference učitelů elektrotechniky, Brno-Lednice 15.-17.9.2009*. Brno: MJ servis, Ltd., 2009. ISBN-978-80-214-3934-4.
- [13] ŠIMKOVÁ, M.; HAMMER, M. Vybrané metody plynové chromatografie v diagnostice výkonových olejových transformátorů. *Elektrorevue*. 2010. ISSN 1213-1539. (v tisku)

Produkty

- [1] ŠIMKOVÁ, M.; HAMMER, M., Inteligentní zařízení pro posuzování stavu elektrických strojů točivých. 2009.
- [2] HAMMER, M.; KOLČABA, J.; LATINA, P.; ŠIMKOVÁ, M.; TOMAN, J.; PAVLÍK, J., Modul výpočtu izolačního odporu. 2006.

- [3] ŠIMKOVÁ, M.; HAMMER *Tabulky pro import dat do formátu Visual DTS Pro*. Multimédia. 2009.
- [4] ŠIMKOVÁ, M.; HAMMER *Databáze zkoušek elektrických strojů točivých*. Multimédia. 2009.

Ostatní činnost

Vedení bakalářské práce:

- [1] KEMPA, Miroslav. *Elektrické zkoušky v diagnostice transformátorů*. Brno: VUT v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. 2009.
- [2] HINDRA, Matěj. *Nedestruktivní diagnostické zkoušky prováděné u transformátorů*. Brno: VUT v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 2010.

Spolupráce na projektech:

- [1] Spolupráce na řešení komerčního projektu č.021335400020 (2006) pro ČEZ, a.s. Modul výpočtu izolačního odporu.
- [2] GAČR 102/08/1118, název: Inteligentní diagnostika elektrických strojů.
- [3] Projekt MPO ČR FI-IM5/173, 2008-2010, název: Metodika stanovení životnosti vysokonapětových izolačních systémů točivých strojů, spoluřešitel.

Práce na projektech:

- [1] Tvorba a programování dílčího modulu životnosti pro expertní systém řízeného stárnutí elektrických strojů. Dohoda o provedení práce č. 918. 2009.
- [2] Rozbor datových struktur pro diagnostiku elektrických strojů. Dohoda o provedení práce č. 1235. 2009.
- [3] Statistická analýza vybraných elektrických a neelektrických diagnostických veličin výkonových transformátorů. Dohoda o provedení práce č. 1235. 2009.
- [4] Provedení měření transformátoru a zpracování výsledků. Dohoda o provedení práce č.0361708. 2007.
- [5] Vytvoření expertního systému pro diagnostiku transformátorů. Dohoda o provedení práce č.0362924. 2008.

Přílohy

Seznam Příloh a tabulek v nich:

Příloha 1: Posouzení výsledků plynové chromatografie

Tab. 1.1 Rovnice proložení grafů časových závislostí plynů	157
Tab. 1.2 Rovnice proložení grafů časových závislostí plynů pro upravené soubory	161
Tab. 1.3 Rovnice proložení grafů teplotních závislostí plynů	165
Tab. 1.4 Rovnice proložení grafů teplotních závislostí plynů pro upravené soubory	169
Tab. 1.5 Přehled analýzy plynů pomocí krabicových grafů	173

Příloha 2: Posouzení výsledků ostatních veličin

Tab. 2.1 Rovnice proložení grafů časové závislosti ostatních veličin	178
Tab. 2.2 Rovnice proložení grafů časové závislosti ostatních veličin pro upravené soubory	181
Tab. 2.3 Rovnice proložení grafů časové závislosti čísla kyselosti	185
Tab. 2.4 Rovnice proložení grafů časové závislosti průrazného napětí	185
Tab. 2.5 Rovnice proložení grafů časové závislosti průrazného napětí pro upravené soubory	186
Tab. 2.6 Rovnice proložení grafů závislosti průrazného napětí na plynech	186
Tab. 2.7 Rovnice proložení grafů závislosti průrazného napětí na plynech pro upravené soubory	189
Tab. 2.8 Rovnice proložení grafů závislosti průrazného napětí na obsahu vody rozpuštěného oleji	192
Tab. 2.9 Rovnice proložení grafů závislosti průrazného napětí na obsahu vody rozpuštěného oleji pro upravené soubory	193
Tab. 2.10 Přehled analýzy ostatních veličin pomocí krabicových grafů	194
Tab. 2.11 Přehled analýzy čísla kyselosti pomocí krabicových grafů	193
Tab. 2.12 Přehled analýzy obsahu vody rozpuštěného v oleji pomocí krabicových grafů	193
Tab. 2.13 Přehled analýzy průrazného napětí pomocí krabicových grafů	196

Příloha 3: Posouzení výsledků elektrických veličin

Tab. 3.1 Přehled analýzy elektrických veličin pomocí krabicových grafů	197
--	-----

Příloha 1: Posouzení výsledků plynové chromatografie

Tab. 1.1 Rovnice proložení grafů časových závislostí plynů

Transformátor	CH₄(t)		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -8,0972x + 109,24$	$y = 0,5569x^2 - 17,207x + 133,72$	$y = 0,1135x^3 - 2,1498x^2 - 0,7142x + 116,19$
2	$y = -0,1203x + 2,5355$	$y = 0,0112x^2 - 0,3013x + 3,0058$	$y = 0,005x^3 - 0,1087x^2 + 0,4224x + 2,2646$
3	$y = -0,9395x + 53,423$	$y = -0,0378x^2 + 2,1489x - 6,03$	$y = 0,0235x^3 - 2,9255x^2 + 117,08x - 1478,1$
4	$y = -0,2748x + 16,276$	$y = -0,1395x^2 + 10,375x - 182,61$	
5	$y = 0,405x - 6,6604$	$y = -0,028x^2 + 2,5457x - 43,915$	$y = -0,009x^3 + 1,0103x^2 - 35,099x + 389,55$
6	$y = 1,01x - 4$	$y = 0,5643x^2 - 8,0186x + 30,986$	$y = -0,5167x^3 + 12,96x^2 - 105,46x + 281,47$
7	$y = -0,4x + 12,2$	$y = -0,3341x^2 + 14,92x - 162,67$	$y = 0,5625x^3 - 39,3x^2 + 912,54x - 7038,1$
8	$y = -1,3584x + 17,73$	$y = 0,3844x^2 - 8,6628x + 47,844$	$y = -0,0658x^3 + 2,259x^2 - 25,07x + 90,959$
9	$y = -0,2685x + 7,8844$	$y = 0,0789x^2 - 1,768x + 14,067$	$y = -0,001x^3 + 0,107x^2 - 2,0136x + 14,712$
Transformátor	C₂H₆(t)		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -1,7424x + 35,699$	$y = 0,1612x^2 - 4,4587x + 43,172$	$y = -0,0241x^3 + 0,7393x^2 - 7,9927x + 46,94$
2	$y = 0,3782x - 0,596$	$y = 0,0094x^2 + 0,2276x - 0,2047$	$y = -0,0244x^3 + 0,5912x^2 - 3,2842x + 3,392$
3	$y = -0,0431x + 5,3276$	$y = -0,0232x^2 + 1,856x - 31,233$	$y = 0,0007x^3 - 0,1135x^2 + 5,4484x - 77,245$
4	$y = -0,047x + 3,615$	$y = -0,0442x^2 + 3,3288x - 59,43$	
5	$y = 0,1327x - 1,4902$	$y = 0,0026x^2 - 0,0636x + 1,9265$	$y = -0,0026x^3 + 0,2954x^2 - 10,68x + 124,16$
6	$y = 0,08x + 0,52$	$y = -0,4x^2 + 6,48x - 24,28$	$y = -0,4667x^3 + 10,8x^2 - 81,533x + 201,96$
7	$y = 0,16x - 2,02$	$y = -0,4295x^2 + 19,86x - 226,86$	$y = -0,3375x^3 + 22,95x^2 - 518,71x + 3898,4$
8	$y = -0,4955x + 6,9152$	$y = 0,162x^2 - 3,5737x + 19,606$	$y = -0,0448x^3 + 1,4386x^2 - 14,75x + 48,969$
9	$y = -0,0371x + 3,5854$	$y = 0,0085x^2 - 0,1984x + 4,2506$	$y = -0,004x^3 + 0,1214x^2 - 1,1871x + 6,8482$
Transformátor	C₂H₄(t)		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -10,502x + 156,07$	$y = 0,5834x^2 - 20,333x + 183,12$	$y = 0,0826x^3 - 1,3954x^2 - 8,2363x + 170,23$
2	$y = -0,2551x + 11,682$	$y = -0,1903x^2 + 2,8067x + 3,725$	$y = 0,0171x^3 - 0,5977x^2 + 5,2651x + 1,207$
3	$y = 0,1689x + 7,3318$	$y = -0,1173x^2 + 9,7545x - 177,2$	$y = -0,0043x^3 + 0,412x^2 - 11,309x + 92,596$
4	$y = -0,956x + 54,97$	$y = -0,622x^2 + 46,518x - 831,63$	
5	$y = 0,8137x - 12,644$	$y = -0,0432x^2 + 4,0952x - 69,75$	$y = -0,0007x^3 + 0,04x^2 + 1,082x - 35,057$
6	$y = 0,71x - 1,42$	$y = -0,793x^2 + 13,396x - 50,577$	$y = -1,5167x^3 + 35,607x^2 - 272,65x + 684,7$
7	$y = 0,4x - 4,7$	$y = -0,175x^2 + 8,425x - 96,3$	$y = -0,2292x^3 + 15,7x^2 - 357,27x + 2704,8$
8	$y = -2,2056x + 28,736$	$y = 0,7517x^2 - 16,489x + 87,623$	$y = -0,214x^3 + 6,8629x^2 - 69,988x + 228,18$
9	$y = 0,01014x + 12,595$	$y = 0,0801x^2 - 1,5126x + 18,873$	$y = -0,0472x^3 + 1,4239x^2 - 13,277x + 49,78$

Transformátor	$C_2H_2(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,0011x + 0,1575$	$y = 0,0055x^2 - 0,1069x + 0,5543$	$y = -0,0001x^3 + 0,0086x^2 - 0,132x + 0,6123$
2	$y = 0,0265x - 0,0903$	$y = 0,0015x^2 + 0,0019x - 0,0263$	$y = -0,0008x^3 + 0,0207x^2 - 0,1139x + 0,092$
3	$y = 0,1483x - 4,1693$	$y = -0,0053x^2 + 0,5833x - 12,543$	$y = -0,0023x^3 + 0,2807x^2 - 10,802x + 133,3$
4	$y = 0,1041x - 3,5293$	$y = 0,028x^2 - 2,0323x + 36,369$	
5	$y = 0,1179x - 2,9058$	$y = -0,0038x^2 + 0,4047x - 7,7605$	$y = -0,0008x^3 + 0,0888x^2 - 2,9728x + 31,34$
6	$y = 0,32x - 0,28$	$y = -0,9429x^2 + 15,406x - 58,737$	$y = -0,95x^3 + 21,857x^2 - 163,76x + 401,82$
7	$y = 0,4857x - 9,1429$	$y = 0,0205x^2 - 0,4523x + 1,5636$	$y = -0,5208x^3 + 36,1x^2 - 831,58x + 6367,7$
8	$y = 0,0049x + 1,2868$	$y = 0,0368x^2 - 0,6946x + 4,1705$	$y = 0,0002x^3 + 0,0309x^2 - 0,643x + 4,0347$
9	$y = 0,0269x + 2,0192$	$y = -0,0569x^2 + 1,1074x - 2,4354$	$y = -0,0007x^3 - 0,0358x^2 + 0,923x - 1,9516$
Transformátor	$C_3H_8(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 14,329x + 19,464$	$y = -11,145x^2 + 66,871x + 1,154$	$y = -53,37x^3 + 425,84x^2 - 796,19x + 10$
2	$y = 0,6366x + 2,0006$	$y = -0,6588x^2 + 4,5036x - 0,6919$	$y = -0,2217x^3 + 1,4034x^2 - 0,2638x + 0,506$
3	$y = 0,1983x - 3,8817$	$y = 0,0062x^2 - 0,3049x + 5,8055$	$y = 0,0038x^3 - 0,4613x^2 + 18,301x - 232,51$
4	$y = 0,182x + 5,2098$	$y = -0,7577x^2 + 58,012x - 1074,8$	
5	$y = 0,3251x - 1,676$	$y = 0,0678x^2 - 4,8268x + 87,983$	$y = -0,0018x^3 + 0,2681x^2 - 12,09x + 171,61$
6	$y = 3,7x - 18,7$	$y = -3,7286x^2 + 63,357x - 249,87$	$y = -7,5417x^3 + 177,27x^2 - 1359x + 3406,3$
7	$y = 1,5314x - 29,406$	$y = -0,325x^2 + 16,435x - 199,52$	$y = -0,9625x^3 + 66,35x^2 - 1519,5x + 11565$
8	$y = -1,2007x + 18,957$	$y = 0,5943x^2 - 12,493x + 65,511$	$y = -0,1517x^3 + 4,918x^2 - 50,347x + 164,96$
9	$y = 1,7385x - 1,1321$	$y = 0,2408x^2 - 2,836x + 17,727$	$y = 0,0226x^3 - 0,4036x^2 + 2,805x + 2,9061$
Transformátor	$C_4H_{10}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,472x + 20,069$	$y = -0,5763x^2 + 56,335x - 1324,3$	$y = 0,3386x^3 - 49,985x^2 + 2450,2x - 39832$
5	$y = 22,714x - 968,17$	$y = 5,0238x^2 - 469,62x + 11074$	$y = -2,2899x^3 + 341,6x^2 - 16946x + 279618$
6	$y = -3,55x + 103,24$	$y = -25,179x^2 + 399,31x - 1457,8$	$y = -12,208x^3 + 267,8x^2 - 1903,2x + 4460,8$
7	$y = 1,8286x - 9,6143$	$y = 0,8341x^2 - 36,42x + 426,97$	$y = -5,604x^3 + 389,05x^2 - 8979,3x + 68927$
8	$y = 0,5448x + 5,8248$	$y = 0,46x^2 - 8,196x + 41,861$	$y = -0,0789x^3 + 2,7077x^2 - 27,87x + 93,558$
9	$y = 2,3339x - 4,0972$	$y = 0,2887x^2 - 3,1511x + 18,517$	$y = 0,0504x^3 - 1,1466x^2 + 9,4143x - 14,496$

Transformátor	$\Sigma C_x H_y(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -31,811x + 466,07$	$y = 1,0412x^2 - 49,156x + 511,26$	$y = 0,5923x^3 - 13,31x^2 + 39,373x + 425,7$
2	$y = -0,3917x + 20,376$	$y = -0,2048x^2 + 2,894x + 12,489$	$y = 0,0134x^3 - 0,526x^2 + 4,8236x + 10,654$
3	$y = -0,7552x + 65,742$	$y = -0,1684x^2 + 13,013x - 199,3$	$y = 0,021x^3 - 2,7534x^2 + 115,9x - 1517,1$
4	$y = -1,0812x + 79,594$	$y = -1,562x^2 + 118,17x - 2147,4$	
5	$y = 1,1018x - 5,8881$	$y = -0,0419x^2 + 4,2854x - 61,293$	$y = -0,0154x^3 + 1,703x^2 - 58,973x + 667,09$
6	$y = 2,12x - 5,18$	$y = -1,5714x^2 + 27,263x - 102,61$	$y = -3,45x^3 + 81,229x^2 - 623,41x + 1570$
7	$y = 0,5229x + 0,2686$	$y = -1,7x^2 + 78,48x - 889,56$	$y = 0,55x^3 - 39,8x^2 + 956,15x - 7612,2$
8	$y = -3,7517x + 51,025$	$y = 1,2633x^2 - 27,755x + 149,99$	$y = -0,3195x^3 + 10,369x^2 - 107,47x + 359,4$
9	$y = -0,2685x + 26,084$	$y = 0,1107x^2 - 2,3716x + 34,755$	$y = -0,0528x^3 + 1,6165x^2 - 15,55x + 69,389$
Transformátor	$H_2(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,7468x + 17,335$	$y = -0,142x^2 + 1,5796x + 11,085$	$y = 0,0686x^3 - 1,779x^2 + 11,405x + 0,9937$
2	$y = -0,251x + 7,3454$	$y = -0,1345x^2 + 1,7145x + 2,706$	$y = 0,0113x^3 - 0,387x^2 + 3,1451x + 1,3578$
3	$y = -5,1154x + 296,03$	$y = 0,1102x^2 - 14,12x + 469,37$	$y = 0,0827x^3 - 10,054x^2 + 390,41x - 4712,1$
4	$y = -1,7906x + 96,797$	$y = -0,0707x^2 + 3,6075x - 4,015$	
5	$y = 1,5532x - 33,936$	$y = -0,0162x^2 + 2,7865x - 55,4$	$y = -0,0089x^3 + 0,9878x^2 - 33,61x + 363,68$
6	$y = 0,39x + 19,32$	$y = -1,7214x^2 + 27,93x - 87,409$	$y = -7,4x^3 + 175,88x^2 - 1367,7x + 3500,1$
7	$y = -3,3029x + 98,491$	$y = 1,5727x^2 - 75,424x + 921,7$	$y = -2,85x^3 + 199x^2 - 4623,3x + 35757$
8	$y = -0,9762x + 31,607$	$y = 0,9278x^2 - 18,605x + 104,29$	$y = -0,1494x^3 + 5,1847x^2 - 55,872x + 202,2$
9	$y = -0,2559x + 31,698$	$y = -0,2078x^2 + 3,692x + 15,421$	$y = 0,1289x^3 - 3,8823x^2 + 35,86x - 69,093$
Transformátor	$O_2(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -1253,5x + 22743$	$y = 13,128x^2 - 1474,8x + 23352$	$y = -22,35x^3 + 548,56x^2 - 4748,1x + 26839$
2	$y = -20,317x + 16295$	$y = 119,66x^2 - 2108,2x + 23038$	$y = -22,53x^3 + 695,18x^2 - 6116x + 29624$
3	$y = 135,9x + 2962,2$	$y = -7,9498x^2 + 785,76x - 9548$	$y = -0,0675x^3 + 0,3554x^2 + 455,2x - 5314,1$
4	$y = 55,15x + 1040,8$	$y = -222,5x^2 + 17034x - 316046$	
5	$y = 425,1x + 11720$	$y = -147,9x^2 + 11672x - 184015$	$y = -35,51x^3 + 3870,4x^2 - 133990x + 1 \cdot 10^6$
6	$y = -120,95x + 27229$	$y = 33,493x^2 - 656,84x + 29306$	$y = 0,75x^3 + 15,493x^2 - 515,39x + 28942$
7	$y = -1964,7x + 59914$	$y = 1391,9x^2 - 65793x + 788467$	$y = -844,58x^3 + 59898x^2 - 1 \cdot 10^6x + 1 \cdot 10^7$
8	$y = -14422x + 184455$	$y = 4309,4x^2 - 96302x + 522028$	$y = -731,43x^3 + 25155x^2 - 278794x + 1 \cdot 10^6$
9	$y = 397,64x + 6518,9$	$y = -120,2x^2 + 2681,9x - 2898,7$	$y = 84,365x^3 - 2524,6x^2 + 23731x - 58200$

Transformátor	$N_2(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -3809,3x + 76319$	$y = -492x^2 + 4482x + 53508$	$y = -15,99x^3 - 108,95x^2 + 2140,3x + 56004$
2	$y = -1808,8x + 69452$	$y = -14,922x^2 - 1548,4x + 68611$	$y = 12,677x^3 - 338,76x^2 + 706,69x + 64905$
3	$y = -996,66x + 83523$	$y = 22,805x^2 - 2860,9x + 119410$	$y = -23,348x^3 + 2894x^2 - 117133x + 2 \cdot 10^6$
4	$y = -2631,4x + 136818$	$y = -755x^2 + 54994x - 939374$	
5	$y = 252,28x + 41859$	$y = 29,873x^2 - 2019,1x + 81387$	$y = -17,99x^3 + 2065,6x^2 - 75816x + 931119$
6	$y = -1415,1x + 73636$	$y = 935,18x^2 - 16378x + 131617$	$y = 608,65x^3 - 13672x^2 + 98413x - 163457$
7	$y = -8629,1x + 230173$	$y = 3605,5x^2 - 173965x + 2 \cdot 10^6$	$y = -4188,2x^3 + 293731x^2 - 7 \cdot 10^6x + 5 \cdot 10^7$
8	$y = -49944x + 619085$	$y = 15047x^2 - 335827x + 2 \cdot 10^6$	$y = -2924,4x^3 + 98391x^2 - 1 \cdot 10^6x + 4 \cdot 10^6$
9	$y = 298,91x + 20932$	$y = -180,72x^2 + 3732,5x + 6776$	$y = 105,46x^3 - 3186,4x^2 + 30046x - 62355$
Transformátor	$CO_2(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -43,321x + 1467,2$	$y = -25,54x^2 + 387,01x + 283,36$	$y = -0,2308x^3 - 20,007x^2 + 353,2x + 319,37$
2	$y = -32,723x + 1771,1$	$y = -14,858x^2 + 226,5x + 933,88$	$y = -0,6998x^3 + 3,02x^2 + 102,05x + 1138,5$
3	$y = -3,252x + 1689,5$	$y = -14,597x^2 + 1190x - 21282$	$y = -0,22x^3 + 12,499x^2 + 111,58x - 7468,2$
4	$y = -185,12x + 8412,7$	$y = 22,9x^2 - 1932,9x + 41054$	
5	$y = 58,777x - 218,38$	$y = -4,832x^2 + 426,15x - 6611,9$	$y = -0,4179x^3 + 42,46x^2 - 1288,2x + 13128$
6	$y = 113,97x - 271,56$	$y = 176,34x^2 - 2707,4x + 10661$	$y = -72,408x^3 + 1914,1x^2 - 16364x + 45765$
7	$y = -59,843x + 1977,2$	$y = -20,11x^2 + 862,41x - 8549,7$	$y = 59,771x^3 - 4160,6x^2 + 96243x - 739127$
8	$y = -0,8829x + 286,54$	$y = 6,3235x^2 - 120,32x + 769,46$	$y = 0,587x^3 - 10,564x^2 + 28,802x + 376,67$
9	$y = -16,376x + 550,18$	$y = -3,835x^2 + 56,485x + 249,79$	$y = 3,0855x^3 - 91,772x^2 + 826,32x - 1772,8$
Transformátor	$CO(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 5,8059x + 134,99$	$y = -3,9828x^2 + 70,95x - 40,066$	$y = -0,4846x^3 + 7,5709x^2 + 0,554x + 34,74$
2	$y = -2,275x + 209,826$	$y = 0,3228x^2 - 7,9087x + 228,02$	$y = -0,4891x^3 + 12,816x^2 - 94,911x + 371$
3	$y = 1,557x + 100,72$	$y = -1,8746x^2 + 154,8x - 2849,3$	$y = -0,153x^3 + 16,988x^2 - 595,93x + 6766,6$
4	$y = -4,1925x + 343,04$	$y = -6,9453x^2 + 525,9x - 9556,7$	
5	$y = 14,353x - 254,04$	$y = -1,963x^2 + 173,97x - 3346,2$	$y = -0,3092x^3 + 35,835x^2 - 1332x + 16122$
6	$y = 43,95x - 258,5$	$y = 14,207x^2 - 183,36x + 622,34$	$y = -23,5x^3 + 578,21x^2 - 4615,5x + 12015$
7	$y = -2,8114x + 90,366$	$y = 1,0091x^2 - 49,085x + 618,55$	$y = 0,3083x^3 - 20,35x^2 + 442,94x - 3150,2$
8	$y = 0,3364x + 36,288$	$y = 0,8427x^2 - 15,675x + 102,3$	$y = -0,0493x^3 + 2,2474x^2 - 27,972x + 134,6$
9	$y = 2,5675x + 49,484$	$y = -1,036x^2 + 22,257x - 31,692$	$y = 0,8519x^3 - 25,314x^2 + 234,8x - 590,09$

Transformátor	$Q_p(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,5117x + 10,137$	$y = -0,05x^2 + 0,3304x + 7,8198$	$y = -0,0038x^3 + 0,0406x^2 - 0,223x + 8,4097$
2	$y = -0,0123x + 6,9469$	$y = -0,04x^2 + 0,6351x + 5,3127$	$y = 0,0088x^3 - 0,2476x^2 + 1,8688x + 4,067$
3	$y = 0,048x + 2,5733$	$y = -0,018x^2 + 1,5285x - 25,927$	$y = -0,0008x^3 + 0,075x^2 - 2,1822x + 21,603$
4	$y = -0,2504x + 14,748$	$y = -0,062x^2 + 4,4791x - 73,577$	
5	$y = 0,0622x + 4,9982$	$y = 0,0064x^2 - 0,4248x + 13,474$	$y = -0,0025x^3 + 0,287x^2 - 10,604x + 130,68$
6	$y = -0,134x + 10,554$	$y = 0,0871x^2 - 1,5283x + 15,957$	$y = 0,2442x^3 - 5,7729x^2 + 44,522x - 102,42$
7	$y = -1,046x + 28,962$	$y = 0,498x^2 - 23,881x + 289,61$	$y = -0,47x^3 + 33,085x^2 - 774,55x + 6039,5$
8	$y = 0,3158x + 0,427$	$y = 0,0491x^2 - 0,6167x + 4,2719$	$y = 0,0178x^3 - 0,4582x^2 + 3,8243x - 7,3959$
9	$y = 0,1014x + 2,7845$	$y = -0,0267x^2 + 0,609x + 0,6899$	$y = 0,0231x^3 - 0,6853x^2 + 6,3746x - 14,457$

Tab. 1.2 Rovnice proložení grafů časových závislostí plynů pro upravené soubory

Transformátor	$CH_4(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,5347x + 0,8092$	$y = -0,0947x^2 + 2,3358x - 6,1945$	$y = -0,0658x^3 + 1,7765x^2 - 13,37x + 30,458$
2	$y = -0,1203x + 2,5355$	$y = 0,0112x^2 - 0,3013x + 3,0058$	$y = 0,005x^3 - 0,1087x^2 + 0,4224x + 2,2646$
3	$y = 0,0878x + 1,3356$	$y = -0,0386x^2 + 3,244x - 59,446$	$y = -0,0052x^3 + 0,595x^2 - 21,895x + 259,24$
4	$y = -0,2748x + 16,276$	$y = -0,1395x^2 + 10,38x - 182,61$	
5	$y = 0,1966x - 1,7293$	$y = -0,0076x^2 + 0,7786x - 11,87$	$y = -0,0028x^3 + 0,31x^2 - 10,698x + 119,77$
6	$y = 1,01x - 4$	$y = 0,5643x^2 - 8,0186x + 30,986$	$y = -0,5167x^3 + 12,96x^2 - 105,46x + 281,47$
7	$y = -0,4x + 12,2$	$y = -0,3341x^2 + 14,92x - 162,67$	$y = 0,5625x^3 - 39,3x^2 + 912,54x - 7038,1$
8	$y = -0,0588x + 2,2873$	$y = 0,0322x^2 - 0,7349x + 5,5714$	$y = 0,0087x^3 - 0,2425x^2 + 2,022x - 3,1836$
9	$y = -0,2685x + 7,8844$	$y = 0,0789x^2 - 1,768x + 14,067$	$y = -0,001x^3 + 0,107x^2 - 2,0136x + 14,712$
Transformátor	$C_2H_6(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -1,2433x + 16,935$	$y = 0,297x^2 - 6,2368x + 30,344$	$y = -0,0627x^3 + 1,802x^2 - 15,223x + 38,063$
2	$y = 0,0006x + 0,3202$	$y = -0,0054x^2 + 0,0919x + 0,0501$	$y = 0,0004x^3 - 0,0159x^2 + 0,155x - 0,0168$
3	$y = -0,0431x + 5,3276$	$y = -0,0232x^2 + 1,856x - 31,233$	$y = 0,0007x^3 - 0,1135x^2 + 5,4484x - 77,245$
4	$y = -0,047x + 3,615$	$y = -0,0442x^2 + 3,3288x - 59,43$	
5	$y = 0,1327x - 1,4902$	$y = 0,0026x^2 - 0,0636x + 1,9265$	$y = -0,0026x^3 + 0,2954x^2 - 10,68x + 124,16$
6	$y = 0,08x + 0,52$	$y = -0,4x^2 + 6,48x - 24,28$	$y = -0,4667x^3 + 10,8x^2 - 81,533x + 201,96$
7	$y = 0,16x - 2,02$	$y = -0,4295x^2 + 19,86x - 226,86$	$y = -0,3375x^3 + 22,95x^2 - 518,71x + 3898,4$
8	$y = -0,0555x + 1,7818$	$y = 0,0076x^2 - 0,207x + 2,4636$	$y = 0,0061x^3 - 0,1754x^2 + 1,5143x - 2,5501$
9	$y = -0,0371x + 3,5854$	$y = 0,0085x^2 - 0,1984x + 4,2506$	$y = -0,004x^3 + 0,1214x^2 - 1,1871x + 6,8482$

Transformátor	$C_2H_4(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,7214x + 29,829$	$y = -0,625x^2 + 11,404x - 17,959$	$y = 0,0171x^3 - 1,1106x^2 + 15,479x - 27,466$
2	$y = -0,2551x + 11,682$	$y = -0,19x^2 + 2,8067x + 3,7249$	$y = 0,0171x^3 - 0,5977x^2 + 5,2651x + 1,207$
3	$y = 0,1689x + 7,3318$	$y = -0,1173x^2 + 9,7545x - 177,2$	$y = -0,0043x^3 + 0,412x^2 - 11,309x + 92,596$
4	$y = -0,956x + 54,97$	$y = -0,622x^2 + 46,518x - 831,63$	
5	$y = 0,8137x - 12,644$	$y = -0,0432x^2 + 4,0952x - 69,75$	$y = -0,0007x^3 + 0,04x^2 + 1,082x - 35,057$
6	$y = 0,71x - 1,42$	$y = -0,793x^2 + 13,396x - 50,577$	$y = -1,5167x^3 + 35,607x^2 - 272,65x + 684,7$
7	$y = 0,4x - 4,7$	$y = -0,175x^2 + 8,425x - 96,3$	$y = -0,2292x^3 + 15,7x^2 - 357,27x + 2704,8$
8	$y = -0,1664x + 4,9455$	$y = 0,0365x^2 - 0,896x + 8,2287$	$y = 0,0152x^3 - 0,4192x^2 + 3,3908x - 4,2578$
9	$y = 0,01014x + 12,595$	$y = 0,0801x^2 - 1,5126x + 18,873$	$y = -0,047x^3 + 1,4239x^2 - 13,277x + 49,781$
Transformátor	$C_2H_2(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0184x - 0,0965$	$y = 0,0023x^2 - 0,0268x + 0,0816$	$y = -0,0003x^3 + 0,0115x^2 - 0,1025x + 0,255$
2	$y = 0,0033x - 0,0051$	$y = 0,0007x^2 - 0,006x + 0,0165$	$y = 0,0002x^3 - 0,0047x^2 + 0,0243x - 0,0118$
3	$y = 0,1483x - 4,1693$	$y = -0,0053x^2 + 0,583x - 12,543$	$y = -0,002x^3 + 0,2807x^2 - 10,802x + 133,29$
4	$y = 0,1041x - 3,5293$	$y = 0,028x^2 - 2,0323x + 36,369$	
5	$y = 0,1179x - 2,9058$	$y = -0,0038x^2 + 0,405x - 7,7605$	$y = -0,0008x^3 + 0,0888x^2 - 2,9728x + 31,38$
6	$y = 0,32x - 0,28$	$y = -0,943x^2 + 15,406x - 58,737$	$y = -0,95x^3 + 21,857x^2 - 163,76x + 401,82$
7	$y = 0,4857x - 9,1429$	$y = 0,0205x^2 - 0,4523x + 1,5636$	$y = -0,5208x^3 + 36,1x^2 - 831,58x + 6367,7$
8	$y = 0,0049x + 1,2868$	$y = 0,0368x^2 - 0,6946x + 4,1705$	$y = 0,0002x^3 + 0,0309x^2 - 0,6429x + 4,035$
9	$y = 0,0269x + 2,0192$	$y = -0,0569x^2 + 1,1074x - 2,435$	$y = -0,0007x^3 - 0,0358x^2 + 0,923x - 1,9516$
Transformátor	$C_3H_8(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 14,329x + 19,464$	$y = -11,145x^2 + 66,871x + 1,154$	$y = -53,37x^3 + 425,84x^2 - 796,19x + 10$
2	$y = 0,0102x + 2,7119$	$y = -0,0999x^2 + 0,7059x + 1,876$	
3	$y = 0,1983x - 3,8817$	$y = 0,0062x^2 - 0,3049x + 5,8055$	$y = 0,0038x^3 - 0,4613x^2 + 18,301x - 232,51$
4	$y = 0,182x + 5,2098$	$y = -0,7577x^2 + 58,01x - 1074,8$	
5	$y = 0,3251x - 1,676$	$y = 0,0678x^2 - 4,8268x + 87,983$	$y = -0,0018x^3 + 0,2681x^2 - 12,09x + 171,61$
6	$y = 3,7x - 18,7$	$y = -3,7286x^2 + 63,357x - 249,87$	$y = -7,5417x^3 + 177,27x^2 - 1359x + 3406,3$
7	$y = 1,5314x - 29,406$	$y = -0,325x^2 + 16,435x - 199,52$	$y = -0,9625x^3 + 66,35x^2 - 1519,5x + 11565$
8	$y = -0,0087x + 3,733$	$y = 0,0275x^2 - 0,5501x + 6,1462$	$y = 0,0217x^3 - 0,6264x^2 + 5,6083x - 11,804$
9	$y = 1,7385x - 1,1321$	$y = 0,2408x^2 - 2,836x + 17,727$	$y = 0,0226x^3 - 0,4036x^2 + 2,8054x + 2,906$

Transformátor	$C_4H_{10}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,472x + 20,069$	$y = -0,576x^2 + 56,335x - 1324,3$	$y = 0,3386x^3 - 49,985x^2 + 2450,2x - 39832$
5	$y = 22,714x - 968,17$	$y = 5,0238x^2 - 469,62x + 11074$	$y = -2,2899x^3 + 341,63x^2 - 16946x + 27962$
6	$y = -3,55x + 103,24$	$y = -25,179x^2 + 399,3x - 1457,8$	$y = -12,208x^3 + 267,8x^2 - 1903,2x + 4460,8$
7	$y = 1,8286x - 9,6143$	$y = 0,8341x^2 - 36,42x + 426,97$	$y = -5,604x^3 + 389,05x^2 - 8979,3x + 68927$
8	$y = 0,5448x + 5,8248$	$y = 0,46x^2 - 8,196x + 41,861$	$y = -0,0789x^3 + 2,7077x^2 - 27,87x + 93,558$
9	$y = 2,3339x - 4,0972$	$y = 0,2887x^2 - 3,1511x + 18,517$	$y = 0,0504x^3 - 1,1466x^2 + 9,4143x - 14,496$
Transformátor	$\Sigma C_x H_y(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,8569x + 56,58$	$y = -1,169x^2 + 22,017x - 35,582$	$y = -0,3147x^3 + 7,7419x^2 - 51,66x + 127,76$
2	$y = -0,3917x + 20,376$	$y = -0,2048x^2 + 2,894x + 12,489$	$y = 0,0134x^3 - 0,526x^2 + 4,8236x + 10,654$
3	$y = -0,7552x + 65,742$	$y = -0,1684x^2 + 13,013x - 199,3$	$y = 0,021x^3 - 2,7534x^2 + 115,9x - 1517,1$
4	$y = -1,0812x + 79,594$	$y = -1,562x^2 + 118,17x - 2147,4$	
5	$y = 1,1018x - 5,8881$	$y = -0,0419x^2 + 4,2854x - 61,29$	$y = -0,0154x^3 + 1,703x^2 - 58,973x + 667,09$
6	$y = 2,12x - 5,18$	$y = -1,5714x^2 + 27,263x - 102,61$	$y = -3,45x^3 + 81,229x^2 - 623,41x + 1570$
7	$y = 0,5229x + 0,2686$	$y = -1,7x^2 + 78,48x - 889,56$	$y = 0,55x^3 - 39,8x^2 + 956,15x - 7612,2$
8	$y = -0,2042x + 9,4545$	$y = 0,1432x^2 - 3,2111x + 24,059$	$y = 0,0308x^3 - 0,826x^2 + 6,5151x - 6,8271$
9	$y = -0,2685x + 26,084$	$y = 0,1107x^2 - 2,3716x + 34,755$	$y = -0,0528x^3 + 1,6165x^2 - 15,55x + 69,389$
Transformátor	$H_2(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,3639x + 2,0193$	$y = -0,0744x^2 + 1,5721x - 1,1369$	$y = -0,0011x^3 - 0,0481x^2 + 1,415x - 1,0019$
2	$y = -0,251x + 7,3454$	$y = -0,1345x^2 + 1,7145x + 2,706$	$y = 0,0113x^3 - 0,387x^2 + 3,1451x + 1,3578$
3	$y = -1,0646x + 90,626$	$y = 0,1069x^2 - 9,8044x + 258,92$	$y = -0,0377x^3 + 4,737x^2 - 193,43x + 2586,8$
4	$y = -1,7906x + 96,797$	$y = -0,0707x^2 + 3,6075x - 4,015$	
5	$y = 1,5532x - 33,936$	$y = -0,0162x^2 + 2,7865x - 55,4$	$y = -0,0089x^3 + 0,9878x^2 - 33,61x + 363,68$
6	$y = 0,39x + 19,32$	$y = -1,721x^2 + 27,933x - 87,409$	$y = -7,4x^3 + 175,88x^2 - 1367,7x + 3500,1$
7	$y = -3,3029x + 98,491$	$y = 1,5727x^2 - 75,424x + 921,7$	$y = -2,85x^3 + 199x^2 - 4623,3x + 35757$
8	$y = 1,1073x + 7,3$	$y = 0,2858x^2 - 4,6083x + 33,02$	$y = 0,0945x^3 - 2,5481x^2 + 22,049x - 44,629$
9	$y = -0,2559x + 31,698$	$y = -0,2078x^2 + 3,692x + 15,421$	$y = 0,1289x^3 - 3,8823x^2 + 35,86x - 69,093$

Transformátor	O₂(t)		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -1253,5x + 22743$	$y = 13,128x^2 - 1474,8x + 23352$	$y = -22,351x^3 + 548,56x^2 - 4748,1x + 26839$
2	$y = -20,317x + 16295$	$y = 119,66x^2 - 2108,2x + 23038$	$y = -22,53x^3 + 695,18x^2 - 6116x + 29624$
3	$y = 135,9x + 2962,2$	$y = -7,9498x^2 + 785,76x - 9548$	$y = -0,0675x^3 + 0,3554x^2 + 455,2x - 5314,1$
4	$y = 55,15x + 1040,8$	$y = -222,46x^2 + 17034x - 316046$	
5	$y = 14,297x + 16356$	$y = 28,832x^2 - 2184,7x + 54584$	$y = -6,1454x^3 + 716,7x^2 - 26801x + 334644$
6	$y = -120,95x + 27229$	$y = 33,493x^2 - 656,84x + 29306$	$y = 0,75x^3 + 15,493x^2 - 515,39x + 28942$
7	$y = -1964,7x + 59914$	$y = 1391,9x^2 - 65793x + 788467$	$y = -844,58x^3 + 59898x^2 - 1 \cdot 10^6x + 1 \cdot 10^7$
8	$y = 750,79x + 3849$	$y = 184,68x^2 - 3127,4x + 22686$	$y = 35,361x^3 - 929,21x^2 + 8050,3x - 12810$
9	$y = 397,64x + 6518,9$	$y = -120,22x^2 + 2681,9x - 2898,7$	$y = 84,365x^3 - 2524,6x^2 + 23731x - 58200$
Transformátor	N₂(t)		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -3809,3x + 76319$	$y = -492x^2 + 4482x + 53508$	$y = -15,99x^3 - 108,95x^2 + 2140,3x + 56004$
2	$y = -1808,8x + 69452$	$y = -14,922x^2 - 1548,4x + 68611$	$y = 12,677x^3 - 338,76x^2 + 706,69x + 64905$
3	$y = -996,66x + 83523$	$y = 22,805x^2 - 2860,9x + 119410$	$y = -23,348x^3 + 2894x^2 - 117133x + 2 \cdot 10^6$
4	$y = -2631x + 136818$	$y = -755,02x^2 + 54994x - 939374$	
5	$y = 252,28x + 41859$	$y = 29,873x^2 - 2019,1x + 81387$	$y = -17,99x^3 + 2065,6x^2 - 75816x + 931119$
6	$y = -1415,1x + 73636$	$y = 935,18x^2 - 16378x + 131617$	$y = 608,65x^3 - 13672x^2 + 98413x - 163457$
7	$y = -8629x + 230173$	$y = 3605,5x^2 - 173965x + 2 \cdot 10^6$	$y = -4188,2x^3 + 293731x^2 - 7 \cdot 10^6x + 5 \cdot 10^7$
8	$y = 1386,2x + 9708,7$	$y = 467,14x^2 - 8423,8x + 57357$	$y = 59,448x^3 - 1405,5x^2 + 10368x - 2316,8$
9	$y = 400,46x + 17547$	$y = 82,329x^2 - 1160,1x + 23874$	$y = 79,11x^3 - 2181,2x^2 + 18744x - 28563$
Transformátor	CO₂(t)		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -43,321x + 1467,2$	$y = -25,54x^2 + 387,01x + 283,36$	$y = -0,2308x^3 - 20,007x^2 + 353,2x + 319,37$
2	$y = -32,723x + 1771,1$	$y = -14,858x^2 + 226,5x + 933,88$	$y = -0,6998x^3 + 3,019x^2 + 102,05x + 1138,5$
3	$y = -3,252x + 1689,5$	$y = -14,597x^2 + 1190x - 21282$	$y = -0,22x^3 + 12,499x^2 + 111,58x - 7468,2$
4	$y = -185,12x + 8412,7$	$y = 22,9x^2 - 1932,9x + 41054$	
5	$y = 58,777x - 218,38$	$y = -4,8317x^2 + 426,15x - 6611,9$	$y = -0,4179x^3 + 42,46x^2 - 1288,2x + 13128$
6	$y = 113,97x - 271,56$	$y = 176,34x^2 - 2707,4x + 10661$	$y = -72,408x^3 + 1914,1x^2 - 16364x + 45765$
7	$y = -59,843x + 1977,2$	$y = -20,111x^2 + 862,41x - 8549,7$	$y = 59,771x^3 - 4160,6x^2 + 96243x - 739127$
8	$y = -0,8829x + 286,54$	$y = 6,3235x^2 - 120,32x + 769,46$	$y = 0,5874x^3 - 10,564x^2 + 28,802x + 376,67$
9	$y = -16,376x + 550,18$	$y = -3,8348x^2 + 56,49x + 249,79$	$y = 3,0855x^3 - 91,772x^2 + 826,32x - 1772,8$

Transformátor	CO(t)		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 5,8059x + 134,99$	$y = -3,9828x^2 + 70,952x - 40,066$	$y = -0,4846x^3 + 7,5709x^2 + 0,5539x + 34,74$
2	$y = -2,275x + 209,826$	$y = 0,323x^2 - 7,90865x + 228,02$	$y = -0,4891x^3 + 12,816x^2 - 94,911x + 371$
3	$y = 1,557x + 100,72$	$y = -1,8746x^2 + 154,8x - 2849,3$	$y = -0,1534x^3 + 16,988x^2 - 595,9x + 6766,6$
4	$y = -4,1925x + 343,04$	$y = -6,9453x^2 + 525,9x - 9556,7$	
5	$y = 14,353x - 254,04$	$y = -1,9633x^2 + 173,97x - 3346,2$	$y = -0,3092x^3 + 35,835x^2 - 1332x + 16122$
6	$y = 43,95x - 258,5$	$y = 14,207x^2 - 183,36x + 622,34$	$y = -23,5x^3 + 578,21x^2 - 4615,5x + 12015$
7	$y = -2,8114x + 90,366$	$y = 1,0091x^2 - 49,085x + 618,55$	$y = 0,3083x^3 - 20,35x^2 + 442,94x - 3150,2$
8	$y = 0,3364x + 36,288$	$y = 0,8427x^2 - 15,675x + 102,3$	$y = -0,0493x^3 + 2,2474x^2 - 27,97x + 134,6$
9	$y = 3,3261x + 24,196$	$y = 0,9682x^2 - 15,027x + 98,601$	$y = 0,6516x^3 - 17,677x^2 + 148,92x - 333,32$
Transformátor	Q _p (t)		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,5117x + 10,137$	$y = -0,05x^2 + 0,3304x + 7,8198$	$y = -0,0038x^3 + 0,0406x^2 - 0,223x + 8,4097$
2	$y = -0,1891x + 8,8589$	$y = 0,0057x^2 - 0,289x + 9,174$	$y = -0,0009x^3 + 0,028x^2 - 0,4435x + 9,4262$
3	$y = 0,048x + 2,5733$	$y = -0,0181x^2 + 1,5285x - 25,927$	$y = -0,0008x^3 + 0,075x^2 - 2,1822x + 21,603$
4	$y = -0,2504x + 14,748$	$y = -0,062x^2 + 4,4791x - 73,577$	
5	$y = 0,0622x + 4,9982$	$y = 0,0064x^2 - 0,4248x + 13,474$	$y = -0,0025x^3 + 0,287x^2 - 10,604x + 130,68$
6	$y = -0,134x + 10,554$	$y = 0,0871x^2 - 1,5283x + 15,957$	$y = 0,2442x^3 - 5,7729x^2 + 44,522x - 102,42$
7	$y = -1,046x + 28,962$	$y = 0,498x^2 - 23,881x + 289,61$	$y = -0,47x^3 + 33,085x^2 - 774,55x + 6039,5$
8	$y = 0,3158x + 0,427$	$y = 0,0491x^2 - 0,6167x + 4,2719$	$y = 0,0178x^3 - 0,458x^2 + 3,8243x - 7,3959$
9	$y = 0,1014x + 2,7845$	$y = -0,0267x^2 + 0,609x + 0,6899$	$y = 0,023x^3 - 0,6853x^2 + 6,3746x - 14,457$

Tab. 1.3 Rovnice proložení grafů teplotních závislostí plynů

Transformátor	CH ₄ (°C)		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = -0,624x + 35,127$	$y = 0,2555x^2 - 19,76x + 361,29$	$y = -0,0367x^3 + 3,956x^2 - 136,35x + 1522,4$
5	$y = 0,6936x - 9,6219$	$y = -0,294x^2 + 21,518x - 371,35$	$y = -0,094x^3 + 9,7338x^2 - 329,93x + 3681,2$
6	$y = 0,0116x + 3,7544$	$y = 0,0119x^2 - 0,6699x + 12,686$	$y = -0,0078x^3 + 0,698x^2 - 20,005x + 185,43$
7	$y = 0,0083x + 2,7187$	$y = -0,0443x^2 + 1,9357x - 17,861$	$y = -0,084x^3 + 5,4366x^2 - 115,71x + 816,66$
8	$y = -0,0018x + 1,711$	$y = -0,011x^2 + 0,7534x - 10,556$	$y = 0,0018x^3 - 0,1893x^2 + 6,4034x - 69,287$
9	$y = 0,0338x + 4,1184$	$y = -0,0193x^2 + 1,2079x - 12,261$	$y = 0,0073x^3 - 0,7027x^2 + 21,841x - 210,02$

Transformátor	$C_2H_6(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,0292x + 3,1247$	$y = 0,0205x^2 - 1,5047x + 29,27$	$y = -0,0085x^3 + 0,881x^2 - 28,607x + 299,17$
5	$y = -0,1354x + 10,11$	$y = -0,0398x^2 + 2,685x - 38,873$	$y = 0,0116x^3 - 1,2741x^2 + 45,944x - 537,71$
6	$y = -0,0988x + 3,9274$	$y = 0,0134x^2 - 0,8658x + 13,979$	$y = 0,0003x^3 - 0,0109x^2 - 0,1826x + 7,8754$
7	$y = -0,0166x + 2,0627$	$y = -0,1734x^2 + 7,533x - 78,548$	$y = 0,0105x^3 - 0,8523x^2 + 22,107x - 181,93$
8	$y = -0,293x + 13,185$	$y = -0,1176x^2 + 7,9134x - 126,9$	$y = 0,0272x^3 - 2,9897x^2 + 107,95x - 1276,7$
9	$y = 0,0138x + 2,7368$	$y = 0,0069x^2 - 0,4078x + 8,6185$	$y = 0,0017x^3 - 0,155x^2 + 4,4803x - 38,233$
Transformátor	$C_2H_4(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,1915x + 8,4041$	$y = 0,0132x^2 - 0,7606x + 24,376$	$y = 0,0015x^3 - 0,1436x^2 + 4,4296x - 30,387$
5	$y = -0,4558x + 43,236$	$y = -0,182x^2 + 12,474x - 181,35$	$y = 0,0544x^3 - 5,9762x^2 + 215,54x - 2522,9$
6	$y = -0,2616x + 11,586$	$y = 0,0412x^2 - 2,6194x + 42,485$	$y = -0,0035x^3 + 0,346x^2 - 11,217x + 119,29$
7	$y = 0,1558x + 1,4672$	$y = -0,1426x^2 + 6,364x - 64,816$	$y = 0,0054x^3 - 0,4903x^2 + 13,826x - 117,75$
8	$y = -0,8986x + 40,73$	$y = -0,7382x^2 + 50,506x - 833,1$	$y = 0,1184x^3 - 13,163x^2 + 481,19x - 5760,7$
9	$y = -0,1011x + 16,324$	$y = -0,0374x^2 + 2,175x - 15,434$	$y = 0,0072x^3 - 0,7099x^2 + 22,479x - 210,05$
Transformátor	$C_2H_2(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,194x - 3,619$	$y = 0,0022x^2 + 0,0361x - 0,9712$	$y = 0,0012x^3 - 0,1241x^2 + 4,216x - 45,075$
5	$y = 0,0824x + 0,1306$	$y = -0,0045x^2 + 0,4007x - 5,398$	$y = -0,012x^3 + 1,2986x^2 - 45,272x + 521,26$
6	$y = -0,2337x + 8,8242$	$y = 0,0258x^2 - 1,7126x + 28,206$	$y = 0,0003x^3 + 0,0024x^2 - 1,053x + 22,311$
7	$y = 0,2007x - 1,5651$	$y = -0,1687x^2 + 7,548x - 80,014$	$y = -0,0035x^3 + 0,061x^2 + 2,6197x - 45,055$
8	$y = -0,0233x + 2,1766$	$y = 0,0073x^2 - 0,528x + 10,635$	$y = 0,0043x^3 - 0,4539x^2 + 15,695x - 177,23$
9	$y = 0,0258x + 1,3473$	$y = -0,0035x^2 + 0,2407x - 1,6505$	$y = -0,0008x^3 + 0,0718x^2 - 2,033x + 20,144$
Transformátor	$C_3H_8(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = -0,0295x + 6,265$	$y = -0,0052x^2 + 0,3522x - 0,1843$	$y = 0,0017x^3 - 0,1886x^2 + 6,4847x - 65,425$
5	$y = -0,1524x + 20,451$	$y = -0,1641x^2 + 11,513x - 181,93$	$y = 0,0016x^3 - 0,3324x^2 + 17,407x - 249,86$
6	$y = -0,6082x + 26,227$	$y = -0,0703x^2 + 3,217x - 18,477$	$y = 0,0161x^3 - 1,3651x^2 + 35,696x - 271,7$
7	$y = 0,0506x + 5,0037$	$y = -0,1082x^2 + 5,3556x - 57,15$	$y = 0,0381x^3 - 2,9233x^2 + 73,23x - 590,72$
8	$y = -0,5395x + 27,242$	$y = -0,434x^2 + 29,659x - 486,08$	$y = 0,086x^3 - 9,504x^2 + 345,63x - 4118,6$
9	$y = -0,3595x + 28,297$	$y = -0,0101x^2 + 0,253x + 19,754$	$y = -0,011x^3 + 1,0187x^2 - 30,807x + 317,46$

Transformátor	$C_4H_{10}(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,1408x + 38,245$	$y = 0,2184x^2 - 16,732x + 341,04$	$y = 0,0158x^3 - 1,6446x^2 + 54,813x - 547,73$
5	$y = -5,9752x + 363,52$	$y = -1,2897x^2 + 85,72x - 1227,4$	$y = -0,365x^3 + 37,458x^2 - 1270,8x + 14408$
6	$y = -3,7149x + 168,46$	$y = 0,0141x^2 - 4,4824x + 177,43$	$y = 0,0584x^3 - 4,6715x^2 + 113,05x - 738,97$
7	$y = -0,9417x + 55,147$	$y = -0,229x^2 + 10,292x - 76,472$	$y = 0,0754x^3 - 5,799x^2 + 144,58x - 1132,2$
8	$y = 0,3637x - 2,5789$	$y = -0,3073x^2 + 21,7x - 364,35$	$y = 0,0493x^3 - 5,5211x^2 + 203,62x - 2457,2$
9	$y = -0,5313x + 40,245$	$y = -0,144x^2 + 8,3444x - 84,371$	$y = -0,0214x^3 + 1,861x^2 - 51,925x + 490,73$
Transformátor	$\Sigma C_xH_y(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,339x + 23,722$	$y = 0,3817x^2 - 28,251x + 511,02$	$y = -0,035x^3 + 3,9495x^2 - 140,68x + 1630,6$
5	$y = -0,0901x + 53,399$	$y = -0,7545x^2 + 53,55x - 877,25$	$y = -0,0223x^3 + 1,6139x^2 - 29,36x + 78,467$
6	$y = -0,5826x + 28,092$	$y = 0,0923x^2 - 5,8677x + 97,356$	$y = -0,0107x^3 + 1,0363x^2 - 32,458x + 334,9$
7	$y = 0,4381x + 2,0749$	$y = 0,0475x^2 - 1,8925x + 29,38$	$y = 0,0455x^3 - 3,3155x^2 + 79,193x - 608,04$
8	$y = -1,1436x + 55,409$	$y = -0,433x^2 + 27,704x - 409,58$	$y = -0,1065x^3 + 9,7016x^2 - 287,66x + 2803$
9	$y = -0,0276x + 24,526$	$y = -0,0534x^2 + 3,216x - 20,727$	$y = 0,0154x^3 - 1,4958x^2 + 46,767x - 438,16$
Transformátor	$H_2(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = -2,5324x + 160,64$	$y = 1,1336x^2 - 87,442x + 1607,9$	$y = -0,1586x^3 + 17,14x^2 - 591,87x + 6631,3$
5	$y = 1,3073x - 0,2433$	$y = -0,061x^2 + 5,6198x - 75,152$	$y = -0,0477x^3 + 5,0241x^2 - 172,6x + 1979,9$
6	$y = -0,6791x + 41,454$	$y = 0,2395x^2 - 14,394x + 221,19$	$y = -0,0057x^3 + 0,7377x^2 - 28,43x + 346,55$
7	$y = -1,1379x + 48,583$	$y = 0,1459x^2 - 8,2912x + 132,39$	$y = -0,0355x^3 + 2,766x^2 - 71,463x + 628,99$
8	$y = -0,596x + 43,751$	$y = -0,0564x^2 + 2,5066x + 8,4411$	$y = 0,0103x^3 - 0,9305x^2 + 25,071x - 154,75$
9	$y = 0,2262x + 21,142$	$y = -0,123x^2 + 7,7308x - 83,555$	$y = 0,0102x^3 - 1,0826x^2 + 36,688x - 361,11$
Transformátor	$O_2(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 192,55x + 3420,3$	$y = 50,516x^2 - 3591,2x + 67912$	$y = 12,442x^3 - 1205,4x^2 + 35983x - 326192$
5	$y = -3423x + 157964$	$y = -46,34x^2 - 128,83x + 100809$	$y = 215,84x^3 - 22990x^2 + 803110x - 9 \cdot 10^6$
6	$y = -2,1256x + 26315$	$y = 5,1419x^2 - 281,86x + 29584$	$y = -0,067x^3 + 10,546x^2 - 417,41x + 30641$
7	$y = -599,7x + 28402$	$y = 72,742x^2 - 4165,8x + 70183$	$y = -46,46x^3 + 3504,9x^2 - 86918x + 720705$
8	$y = -8585,6x + 339353$	$y = 1073,7x^2 - 76391x + 1 \cdot 10^6$	$y = 129,35x^3 - 10496x^2 + 257014x - 2 \cdot 10^6$
9	$y = 110,92x + 6312,7$	$y = -23,019x^2 + 1510,3x - 13210$	$y = -7,572x^3 + 687,74x^2 - 19949x + 192472$

Transformátor	$N_2(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 1105,6x - 2736,1$	$y = 170,3x^2 - 11650x + 214678$	$y = 18,191x^3 - 1665,9x^2 + 46210x - 361535$
5	$y = 286,37x + 45666$	$y = -372,1x^2 + 26744x - 413356$	$y = 26,557x^3 - 3195,2x^2 + 125578x - 2 \cdot 10^6$
6	$y = 85,343x + 60164$	$y = 52,706x^2 - 2782x + 93672$	$y = -2,16x^3 + 226,22x^2 - 7134,6x + 127608$
7	$y = -1241,7x + 63382$	$y = 143,53x^2 - 9498,5x + 170508$	$y = -45,7x^3 + 4201,7x^2 - 124506x + 1 \cdot 10^6$
8	$y = -29549x + 1 \cdot 10^6$	$y = 4134,1x^2 - 290621x + 5 \cdot 10^6$	$y = 244,8x^3 - 17758x^2 + 340227x - 813090$
9	$y = 22,844x + 22951$	$y = -83,049x^2 + 5071,8x - 47486$	$y = -3,4119x^3 + 237,2x^2 - 4597x + 45188$
Transformátor	$CO_2(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 62,737x - 774,06$	$y = 9,9424x^2 - 671,45x + 11496$	$y = 0,1647x^3 - 6,9391x^2 - 125,38x + 5876,8$
5	$y = -97,606x + 6164,2$	$y = -30,689x^2 + 2084,3x - 31691$	$y = 9,3899x^3 - 1028,9x^2 + 37029x - 434482$
6	$y = 20,674x + 61,333$	$y = 2,2061x^2 - 105,64x + 1716,7$	$y = -1,2923x^3 + 116,04x^2 - 3312x + 30362$
7	$y = -5,838x + 734,69$	$y = -1,0762x^2 + 57,89x - 110,15$	$y = -1,518x^3 + 123,44x^2 - 3154,7x + 26322$
8	$y = -7,0277x + 514,41$	$y = -0,0698x^2 - 2,6108x + 448,5$	$y = -0,443x^3 + 39,434x^2 - 1135,7x + 10908$
9	$y = 2,7685x + 295,17$	$y = 0,9018x^2 - 52,058x + 1060,1$	$y = 0,0557x^3 - 4,3267x^2 + 105,8x - 453,01$
Transformátor	$CO(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 16,232x - 386,4$	$y = 1,0721x^2 - 64,072x + 982,35$	$y = -0,0605x^3 + 7,179x^2 - 256,52x + 2898,9$
5	$y = -8,8852x + 776,25$	$y = -4,1781x^2 + 287,33x - 4369,1$	$y = 2,0747x^3 - 225,19x^2 + 8033,6x - 93691$
6	$y = -3,8421x + 235,24$	$y = 0,3118x^2 - 20,802x + 433,44$	$y = -0,1059x^3 + 8,812x^2 - 234,03x + 2095,9$
7	$y = -0,2624x + 32,151$	$y = 0,028x^2 - 1,8718x + 53,032$	$y = -0,0218x^3 + 1,968x^2 - 56,85x + 545,79$
8	$y = -1,6557x + 92,043$	$y = -0,492x^2 + 33,926x - 542,37$	$y = 0,2264x^3 - 24,9x^2 + 905,18x - 10838$
9	$y = 2,2777x - 7,9336$	$y = -0,2516x^2 + 17,572x - 221,31$	$y = -0,0148x^3 + 1,1418x^2 - 24,496x + 181,9$
Transformátor	$Q_p(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,1596x - 0,4235$	$y = 0,022x^2 - 1,4882x + 27,663$	$y = 0,0021x^3 - 0,1933x^2 + 5,2961x - 39,9$
5	$y = 0,0506x + 6,5578$	$y = -0,0346x^2 + 2,5024x - 36,03$	$y = 0,0028x^3 - 0,329x^2 + 12,822x - 155,03$
6	$y = 0,0031x + 9,4051$	$y = 0,0055x^2 - 0,2979x + 12,922$	$y = -0,0007x^3 + 0,0596x^2 - 1,6537x + 23,49$
7	$y = -0,1449x + 8,5906$	$y = 0,0193x^2 - 1,2525x + 22,961$	$y = -0,0059x^3 + 0,541x^2 - 16,041x + 155,51$
8	$y = -0,0784x + 6,2704$	$y = -0,0175x^2 + 1,141x - 14,527$	$y = -0,003x^3 + 0,2943x^2 - 9,7013x + 109,91$
9	$y = 0,0198x + 3,0358$	$y = -0,0126x^2 + 0,787x - 7,6679$	$y = -0,0013x^3 + 0,1063x^2 - 2,803x + 26,742$

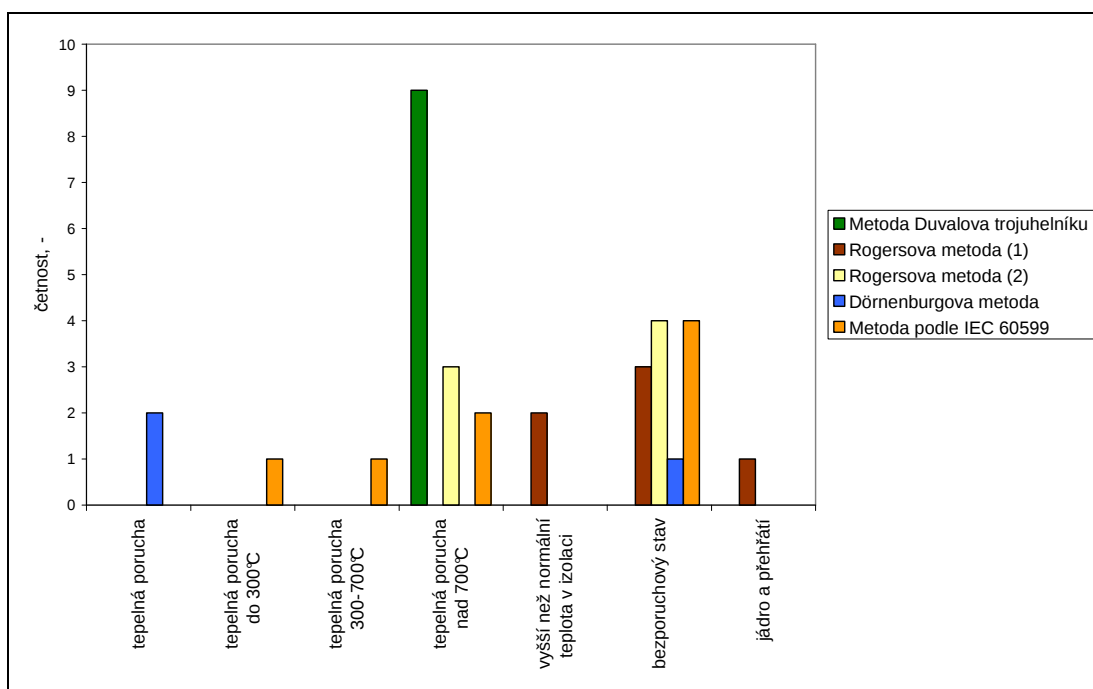
Tab. 1.4 Rovnice proložení grafů teplotních závislostí plynů pro upravené soubory

Transformátor	CH₄(°C)		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = -0,624x + 35,127$	$y = -0,0045x^2 + 0,779x - 16,161$	$y = 0,0009x^3 - 0,1032x^2 + 4,1935x - 54,405$
5	$y = 0,0618x + 6,2443$	$y = -0,078x^2 + 5,6293x - 90,777$	$y = 0,0182x^3 - 1,9955x^2 + 72,166x - 850,2$
6	$y = 0,0116x + 3,7544$	$y = 0,0119x^2 - 0,6699x + 12,686$	$y = -0,0078x^3 + 0,698x^2 - 20,005x + 185,43$
7	$y = 0,0083x + 2,7187$	$y = -0,044x^2 + 1,9357x - 17,861$	$y = -0,0844x^3 + 5,4366x^2 - 115,7x + 816,66$
8	$y = -0,0018x + 1,711$	$y = -0,011x^2 + 0,7534x - 10,556$	$y = 0,0018x^3 - 0,1893x^2 + 6,4034x - 69,287$
9	$y = 0,0338x + 4,1184$	$y = -0,019x^2 + 1,2079x - 12,261$	$y = 0,0073x^3 - 0,7027x^2 + 21,841x - 210,02$
Transformátor	C₂H₆(°C)		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,0292x + 3,1247$	$y = 0,0205x^2 - 1,5047x + 29,27$	$y = -0,0085x^3 + 0,881x^2 - 28,607x + 299,17$
5	$y = -0,1354x + 10,11$	$y = -0,0398x^2 + 2,685x - 38,873$	$y = 0,0116x^3 - 1,2741x^2 + 45,944x - 537,71$
6	$y = -0,0988x + 3,9274$	$y = 0,0134x^2 - 0,8658x + 13,979$	$y = 0,0003x^3 - 0,0109x^2 - 0,1826x + 7,8754$
7	$y = -0,0166x + 2,0627$	$y = -0,1734x^2 + 7,533x - 78,548$	$y = 0,0105x^3 - 0,8523x^2 + 22,107x - 181,93$
8	$y = -0,0312x + 2,3957$	$y = 0,0023x^2 - 0,1919x + 5,1102$	$y = -0,0003x^3 + 0,0304x^2 - 1,184x + 16,667$
9	$y = 0,0138x + 2,7368$	$y = 0,0069x^2 - 0,4078x + 8,6185$	$y = 0,0017x^3 - 0,155x^2 + 4,4803x - 38,233$
Transformátor	C₂H₄(°C)		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,1915x + 8,4041$	$y = 0,0132x^2 - 0,7606x + 24,376$	$y = 0,0015x^3 - 0,1436x^2 + 4,4296x - 30,387$
5	$y = -0,4558x + 43,236$	$y = -0,182x^2 + 12,474x - 181,35$	$y = 0,0544x^3 - 5,9762x^2 + 215,54x - 2522,9$
6	$y = -0,2616x + 11,586$	$y = 0,0412x^2 - 2,6194x + 42,485$	$y = -0,0035x^3 + 0,346x^2 - 11,217x + 119,29$
7	$y = 0,1558x + 1,4672$	$y = -0,143x^2 + 6,3637x - 64,816$	$y = 0,0054x^3 - 0,4903x^2 + 13,826x - 117,75$
8	$y = -0,0653x + 5,7038$	$y = 0,0164x^2 - 1,1989x + 24,82$	$y = 0,0041x^3 - 0,4264x^2 + 14,467x - 157,74$
9	$y = -0,1011x + 16,324$	$y = -0,0374x^2 + 2,175x - 15,434$	$y = 0,0072x^3 - 0,7099x^2 + 22,479x - 210,05$
Transformátor	C₂H₂(°C)		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,194x - 3,619$	$y = 0,0022x^2 + 0,0361x - 0,9712$	$y = 0,0012x^3 - 0,1241x^2 + 4,216x - 45,075$
5	$y = 0,0824x + 0,1306$	$y = -0,0045x^2 + 0,4007x - 5,398$	$y = -0,0122x^3 + 1,2986x^2 - 45,27x + 521,26$
6	$y = -0,2337x + 8,8242$	$y = 0,0258x^2 - 1,7126x + 28,206$	$y = 0,0003x^3 + 0,0024x^2 - 1,053x + 22,311$
7	$y = 0,2007x - 1,5651$	$y = -0,169x^2 + 7,5479x - 80,014$	$y = -0,0035x^3 + 0,0609x^2 + 2,6197x - 45,06$
8	$y = -0,0233x + 2,1766$	$y = 0,0073x^2 - 0,528x + 10,635$	$y = 0,0043x^3 - 0,4539x^2 + 15,695x - 177,23$
9	$y = 0,0258x + 1,3473$	$y = -0,0035x^2 + 0,241x - 1,6505$	$y = -0,0008x^3 + 0,0718x^2 - 2,033x + 20,144$

Transformátor	$C_3H_8(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,0263x + 3,2275$	$y = 0,0075x^2 - 0,5193x + 12,296$	$y = 0,0005x^3 - 0,0464x^2 + 1,2951x - 7,1097$
5	$y = -0,1524x + 20,451$	$y = -0,164x^2 + 11,513x - 181,93$	$y = 0,0016x^3 - 0,3324x^2 + 17,407x - 249,86$
6	$y = -0,6082x + 26,227$	$y = -0,0703x^2 + 3,217x - 18,477$	$y = 0,0161x^3 - 1,3651x^2 + 35,696x - 271,7$
7	$y = 0,0506x + 5,0037$	$y = -0,1082x^2 + 5,3556x - 57,15$	$y = 0,0381x^3 - 2,9233x^2 + 73,23x - 590,72$
8	$y = -0,0604x + 5,8596$	$y = -0,0268x^2 + 1,796x - 25,454$	$y = 0,0052x^3 - 0,586x^2 + 21,586x - 256,1$
9	$y = -0,3595x + 28,297$	$y = -0,0101x^2 + 0,253x + 19,754$	$y = -0,011x^3 + 1,0187x^2 - 30,807x + 317,46$
Transformátor	$C_4H_{10}(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,1408x + 38,245$	$y = 0,2184x^2 - 16,732x + 341,04$	$y = 0,0158x^3 - 1,6446x^2 + 54,813x - 547,73$
5	$y = -5,9752x + 363,52$	$y = -1,2897x^2 + 85,72x - 1227,4$	$y = -0,365x^3 + 37,458x^2 - 1270,8x + 14408$
6	$y = -3,7149x + 168,46$	$y = 0,0141x^2 - 4,4824x + 177,43$	$y = 0,0584x^3 - 4,6715x^2 + 113,05x - 738,97$
7	$y = -0,9417x + 55,147$	$y = -0,229x^2 + 10,292x - 76,472$	$y = 0,0754x^3 - 5,799x^2 + 144,58x - 1132,2$
8	$y = 0,3637x - 2,5789$	$y = -0,3073x^2 + 21,7x - 364,35$	$y = 0,0493x^3 - 5,5211x^2 + 203,62x - 2457,2$
9	$y = -0,5313x + 40,245$	$y = -0,1442x^2 + 8,3444x - 84,371$	$y = -0,0214x^3 + 1,861x^2 - 51,925x + 490,73$
Transformátor	$\Sigma C_xH_y(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,339x + 23,722$	$y = 0,3817x^2 - 28,251x + 511,02$	$y = -0,035x^3 + 3,9495x^2 - 140,68x + 1630,6$
5	$y = -0,0901x + 53,399$	$y = -0,755x^2 + 53,552x - 877,25$	$y = -0,0223x^3 + 1,6139x^2 - 29,36x + 78,467$
6	$y = -0,5826x + 28,092$	$y = 0,0923x^2 - 5,8677x + 97,356$	$y = -0,0107x^3 + 1,036x^2 - 32,458x + 334,91$
7	$y = 0,4381x + 2,0749$	$y = 0,0475x^2 - 1,8925x + 29,38$	$y = 0,0455x^3 - 3,3155x^2 + 79,193x - 608,04$
8	$y = -0,2073x + 14,856$	$y = -0,104x^2 + 6,8949x - 104,04$	$y = -0,0058x^3 + 0,4946x^2 - 13,52x + 126,13$
9	$y = -0,0276x + 24,526$	$y = -0,0534x^2 + 3,216x - 20,727$	$y = 0,0154x^3 - 1,4958x^2 + 46,767x - 438,16$
Transformátor	$H_2(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 2,1467x - 38,896$	$y = -0,0343x^2 + 4,844x - 88,066$	$y = 0,3756x^3 - 40,565x^2 + 1406,4x - 15788$
5	$y = 1,3073x - 0,2433$	$y = -0,061x^2 + 5,6198x - 75,152$	$y = -0,0477x^3 + 5,0241x^2 - 172,6x + 1979,9$
6	$y = -0,6791x + 41,454$	$y = 0,2395x^2 - 14,394x + 221,19$	$y = -0,0057x^3 + 0,7377x^2 - 28,43x + 346,55$
7	$y = -1,1379x + 48,583$	$y = 0,1459x^2 - 8,2912x + 132,39$	$y = -0,0355x^3 + 2,766x^2 - 71,463x + 628,99$
8	$y = -0,3831x + 32,358$	$y = 0,029x^2 - 1,963x + 49,646$	$y = 0,0046x^3 - 0,3644x^2 + 8,2161x - 24,062$
9	$y = 0,2262x + 21,142$	$y = -0,1234x^2 + 7,731x - 83,555$	$y = 0,0102x^3 - 1,0826x^2 + 36,688x - 361,11$

Transformátor	$O_2(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 192,55x + 3420,3$	$y = 50,516x^2 - 3591,2x + 67912$	$y = 12,442x^3 - 1205,4x^2 + 35983x - 326192$
5	$y = -6,2776x + 17870$	$y = -69,039x^2 + 4903,9x - 67355$	$y = -5,674x^3 + 534,02x^2 - 16185x + 175113$
6	$y = -2,1256x + 26315$	$y = 5,1419x^2 - 281,86x + 29584$	$y = -0,067x^3 + 10,546x^2 - 417,41x + 30641$
7	$y = -599,7x + 28402$	$y = 72,742x^2 - 4165,8x + 70183$	$y = -46,46x^3 + 3504,9x^2 - 86918x + 720705$
8	$y = -128,15x + 16397$	$y = -72,246x^2 + 4829,3x - 66594$	$y = 36,41x^3 - 3833,5x^2 + 133222x - 2 \cdot 10^6$
9	$y = 110,92x + 6312,7$	$y = -23,019x^2 + 1510,3x - 13210$	$y = -7,572x^3 + 687,74x^2 - 19949x + 192472$
Transformátor	$N_2(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 1105,6x - 2736,1$	$y = 170,3x^2 - 11650x + 214678$	$y = 18,191x^3 - 1665,9x^2 + 46210x - 361535$
5	$y = 286,37x + 45666$	$y = -372,1x^2 + 26744x - 413356$	$y = 26,557x^3 - 3195,2x^2 + 125578x - 2 \cdot 10^6$
6	$y = 85,343x + 60164$	$y = 52,706x^2 - 2782x + 93672$	$y = -2,16x^3 + 226,22x^2 - 7134,6x + 127608$
7	$y = -1241,7x + 63382$	$y = 143,5x^2 - 9498,5x + 170508$	$y = -45,702x^3 + 4201,7x^2 - 124506x + 1 \cdot 10^6$
8	$y = -337,01x + 36531$	$y = -286,1x^2 + 19309x - 292360$	$y = 68,378x^3 - 7349,9x^2 + 260431x - 3 \cdot 10^6$
9	$y = -199,82x + 28473$	$y = -122,01x^2 + 7200,9x - 74591$	$y = -3,988x^3 + 252,24x^2 - 4096,6x + 33682$
Transformátor	$CO_2(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 62,737x - 774,06$	$y = 9,9424x^2 - 671,45x + 11496$	$y = 0,1647x^3 - 6,939x^2 - 125,38x + 5876,8$
5	$y = -97,606x + 6164,2$	$y = -30,689x^2 + 2084,3x - 31691$	$y = 9,39x^3 - 1028,9x^2 + 37029x - 434482$
6	$y = 20,674x + 61,333$	$y = 2,2061x^2 - 105,64x + 1716,7$	$y = -1,292x^3 + 116,04x^2 - 3312x + 30362$
7	$y = -5,838x + 734,69$	$y = -1,0762x^2 + 57,89x - 110,15$	$y = -1,518x^3 + 123,4x^2 - 3154,7x + 26322$
8	$y = -7,0277x + 514,41$	$y = -0,0698x^2 - 2,6108x + 448,5$	$y = -0,44x^3 + 39,434x^2 - 1135,7x + 10908$
9	$y = 2,7685x + 295,17$	$y = 0,9018x^2 - 52,058x + 1060,1$	$y = 0,0557x^3 - 4,327x^2 + 105,8x - 453,01$
Transformátor	$CO(^{\circ}C)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 16,232x - 386,4$	$y = 1,0721x^2 - 64,072x + 982,35$	$y = -0,0605x^3 + 7,179x^2 - 256,52x + 2898,9$
5	$y = -8,8852x + 776,25$	$y = -4,178x^2 + 287,33x - 4369,1$	$y = 2,075x^3 - 225,19x^2 + 8033,6x - 93691$
6	$y = -3,8421x + 235,24$	$y = 0,3118x^2 - 20,802x + 433,44$	$y = -0,1059x^3 + 8,81x^2 - 234,03x + 2095,9$
7	$y = -0,2624x + 32,151$	$y = 0,028x^2 - 1,8718x + 53,032$	$y = -0,0218x^3 + 1,968x^2 - 56,85x + 545,79$
8	$y = -1,6557x + 92,043$	$y = -0,492x^2 + 33,926x - 542,37$	$y = 0,2264x^3 - 24,9x^2 + 905,18x - 10838$
9	$y = 0,6885x + 31,474$	$y = -0,5218x^2 + 32,34x - 409,31$	$y = -0,0188x^3 + 1,246x^2 - 21,027x + 102,15$

Transformátor	$Q_p(^{\circ}\text{C})$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
3	$y = 0,1596x - 0,4235$	$y = 0,022x^2 - 1,4882x + 27,663$	$y = 0,0021x^3 - 0,1933x^2 + 5,2961x - 39,9$
5	$y = 0,0506x + 6,5578$	$y = -0,0346x^2 + 2,5024x - 36,03$	$y = 0,0028x^3 - 0,329x^2 + 12,822x - 155,03$
6	$y = 0,0031x + 9,4051$	$y = 0,0055x^2 - 0,2979x + 12,922$	$y = -0,0007x^3 + 0,0596x^2 - 1,6537x + 23,49$
7	$y = -0,1449x + 8,5906$	$y = 0,0193x^2 - 1,2525x + 22,961$	$y = -0,0059x^3 + 0,541x^2 - 16,041x + 155,51$
8	$y = -0,0784x + 6,2704$	$y = -0,0175x^2 + 1,141x - 14,527$	$y = -0,003x^3 + 0,2943x^2 - 9,7013x + 109,91$
9	$y = 0,0198x + 3,0358$	$y = -0,0126x^2 + 0,787x - 7,6679$	$y = -0,0013x^3 + 0,1063x^2 - 2,803x + 26,742$



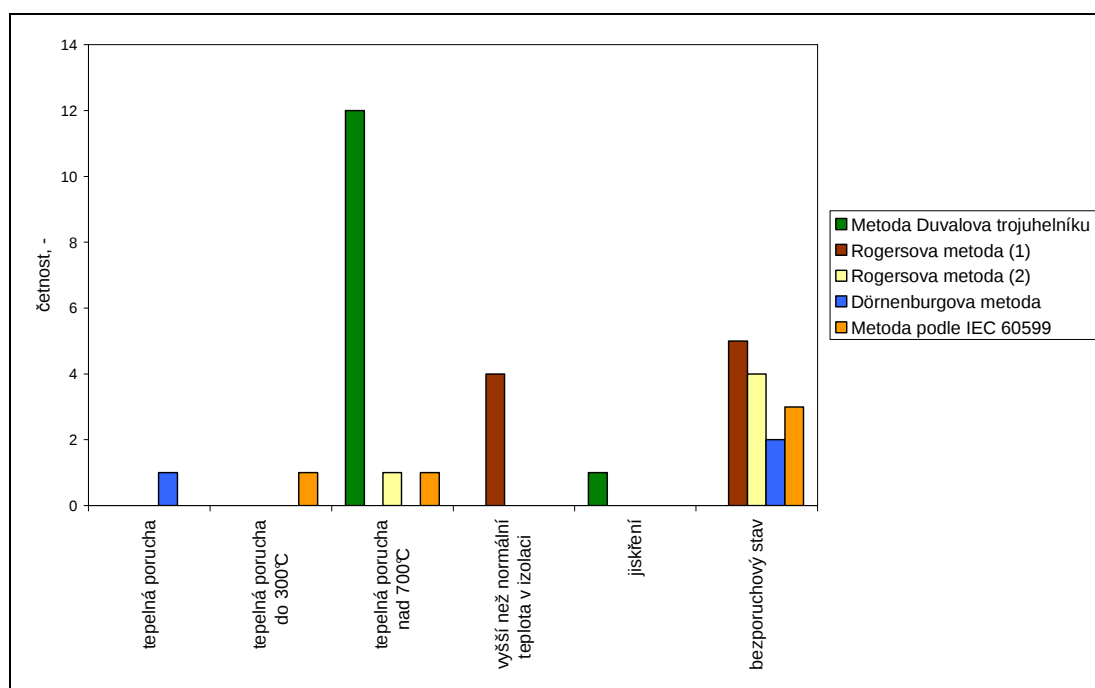
Obr. 1.1 Grafické vyjádření četnosti poruch pro jednotlivé metody u transformátoru 1

Tab. 1.5 Přehled analýzy plynů pomocí krabicových grafů

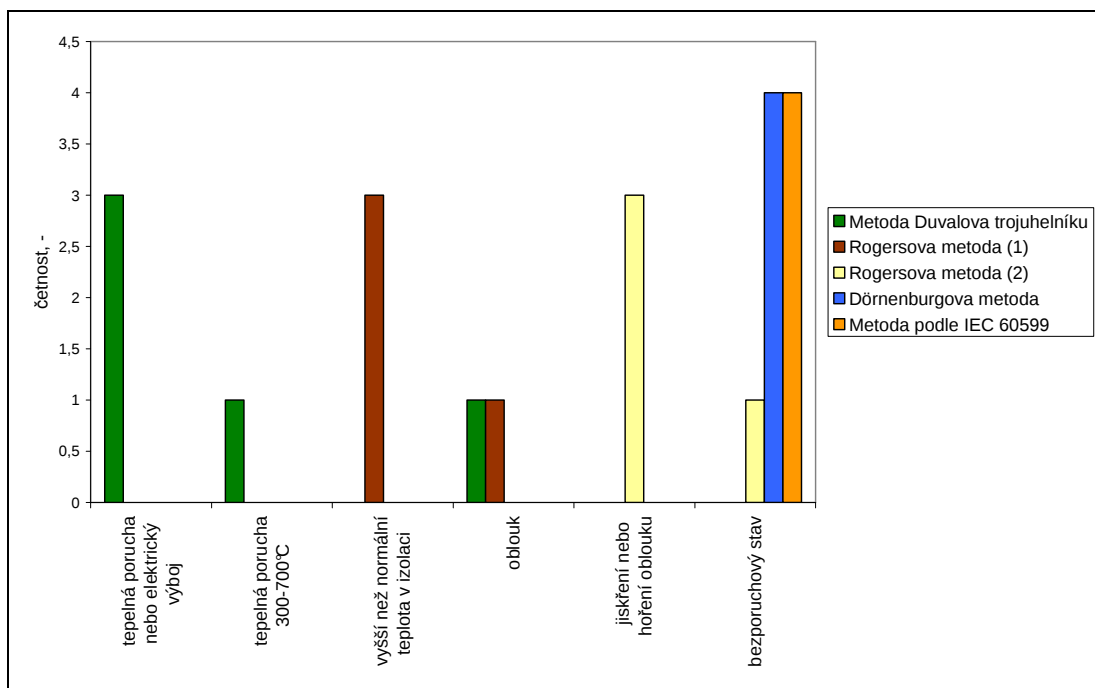
Plyn	Transformátor 1						Transformátor 2					
	Q1	median	Q3	IQR	N	extrémní hodnoty	Q1	median	Q3	IQR	N	extrémní hodnoty
CH ₄	1,625	3,5	17,725	16,1	12	110; 301	0,15	1,15	2,2	2,05	16	2,6; 26
C ₂ H ₆	0,8	1,7	23,6	22,8	13	77; 108	0	0,1	0,95	0,95	16	
C ₂ H ₄	8,85	15	50,5	41,65	14	170; 365	3,075	7,55	14,75	11,675	16	
C ₂ H ₂	0	0	0,2	0,2	11	0,7	0	0	0,075	0,075	16	0,2; 1,2
C ₃ H ₆	6,1	51,5	189,75	183,65	4	420; 1067,7 70	2,2	2,7	8,7	6,5	7	0,1; 13
C ₃ H ₈	5,35	11,5	170,5	165,15	4		2,2	2,7	3,5	1,3	7	
ΣC _x H _y	16,275	42,6	106,85	90,575	12		8,15	13,2	29,3	21,15	13	
H ₂	0	6,9	9	9	11		0	0,1	10	10	15	1,5
CO ₂	265	970	1640	1375	13		880	1600	2060	1180	15	
CO	27,275	159	287,5	260,225	12		140	170	225	85	15	
O ₂	3450	11100	17650	14200	13		13500	18500	23000	9500	15	
N ₂	263	52400	62800	36500	13		48800	53600	65300	16500	15	
Q _p	3,35	6,7	8,1	4,75	13		6,5	7,3	8,6	2,1	15	
C ₃	1,05	6	19,5	18,45	9		1,1	3,6	7	5,9	7	
	Transformátor 3						Transformátor 4					
CH ₄	1,95	3,8	11,65	9,7	9	64	1,7	6,5	8,2	6,5	3	
C ₂ H ₆	1,05	2,4	6,4	5,35	9	12,2	0,8	1,8	2,7	1,9	3	
C ₂ H ₄	6,15	9,6	24,65	18,5	9		2,1	20	30	27,9	3	
C ₂ H ₂	0,05	2,4	3,9	3,85	9		0	0,1	1,6	1,6	3	
C ₃ H ₈	3,3	4,3	5,9	2,6	9		1,4	5,7	30	28,6	3	
ΣC _x H _y	10,2	18,2	53,9	43,7	9		6,2	34	71	64,8	3	
H ₂	21,85	39,4	76,6	54,75	9	294	15,1	25	39	23,9	3	
CO ₂	365,25	1399,3	2722,55	2357,3	9	6450,1	299	444,9	2650	2351	3	
CO	16,95	42,8	299,35	282,4	9		44,4	160	330	285,6	3	
O ₂	2334,2	8500	15014,9	12680,7	9		46200	47300	40849,9	3,8	3	
N ₂	119549,4	45000	57113	46563,6	9							
Q _p	1,78	6	7,5375	5,7575	10							
C ₄ H ₁₀	29,2	33,55	65,275	36,075	6		2,5	5,9	6,3	3,8	3	

Plyn	Transformátor 5						Transformátor 6					
	Q1	median	Q3	IQR	N	extrémní hodnoty	Q1	median	Q3	IQR	N	extrémní hodnoty
CH ₄	3,6	7,3	10,8	7,2	9	43,8	2,1	3,8	6,2	4,1	5	
C ₂ H ₆	2,15	3,4	6,75	4,6	9		0,1	0,8	2,4	2,3	5	
C ₂ H ₄	17	20,2	31,15	14,15	9		1,45	3,1	7,65	6,2	5	
C ₂ H ₂	0,35	2,2	3,075	2,725	8		0,1	1	5,1	5	5	
C ₃ H ₈	5,75	13,6	15,95	10,2	9		0	3,3	25,6	25,6	5	
ΣC _x H _y	25	32,8	55,3	30,3	9		5,5	8,9	19,5	14	5	
H ₂	12,8	34,5	47	34,2	9		7,55	27,7	34,7	27,15	5	
CO ₂	1165	2100	3640,65	2475,65	9		222,1	790,5	983,15	761,65	5	
CO	205,4	259,7	596,35	390,95	8		13,9	54,1	191,8	177,9	5	
O ₂	15818,1	16621	22252,3	6434,25	9		25898	26381,9	26563,9	664,95	5	
N ₂	43959,5	55661,1	61909,8	17950,3	9		59028,6	61639,8	65939,4	6410,85	5	
Q _p	6,52	8,1	8,88	2,36	9		8,96	9,6	9,945	0,985	5	
C ₄ H ₁₀	83,1	169,65	216,425	133,325	6		21,75	85,2	122,75	101	5	
	Transformátor 7						Transformátor 8					
CH ₄	1,925	2,6	4,175	2,25	4		1,525	1,8	2,45	0,925	12	20,5; 20,7
C ₂ H ₆	0,825	1,55	2,725	1,9	4		0,925	1,25	1,65	0,725	12	13
C ₂ H ₄	3,775	4,7	5,325	1,55	4		2,475	3,5	4,425	1,95	12	57,3
C ₂ H ₂	1,225	2	3,225	2	4		0,725	1,3	1,9	1,175	12	
C ₃ H ₈	3,2	6,45	8,95	5,75	4		3,425	3,7	4,8	1,375	12	12,3; 41,8
ΣC _x H _y	9,1	12,05	16,125	7,025	4		5,95	8	10,35	4,4	12	20,5; 91
H ₂	15,7	19,8	29,6	13,9	4		14,425	16,45	23,425	9	12	65,9
CO ₂	464,7	579,35	713,425	248,725	4		164,1	311,6	365,6	201,5	11	
CO	21,475	23,05	30,475	9	4		26,75	33,05	55,325	28,575	12	
O ₂	10990,1	12835,8	18877,7	7887,6	4		9045,9	12777,4	17241,4	8196,68	12	207646,5; 244354,5
N ₂	18214,2	22590,2	47836,2	29622	4		18487,1	25697,6	35607,1	17119,9	12	711418,3; 781377,3
Q _p	3,2375	3,805	6,885	3,6475	4		2,3875	3,17	4,4225	2,035	12	
C ₄ H ₁₀	25,2	32,65	40,85	15,65	4		3,55	7,95	19,875	16,325	12	

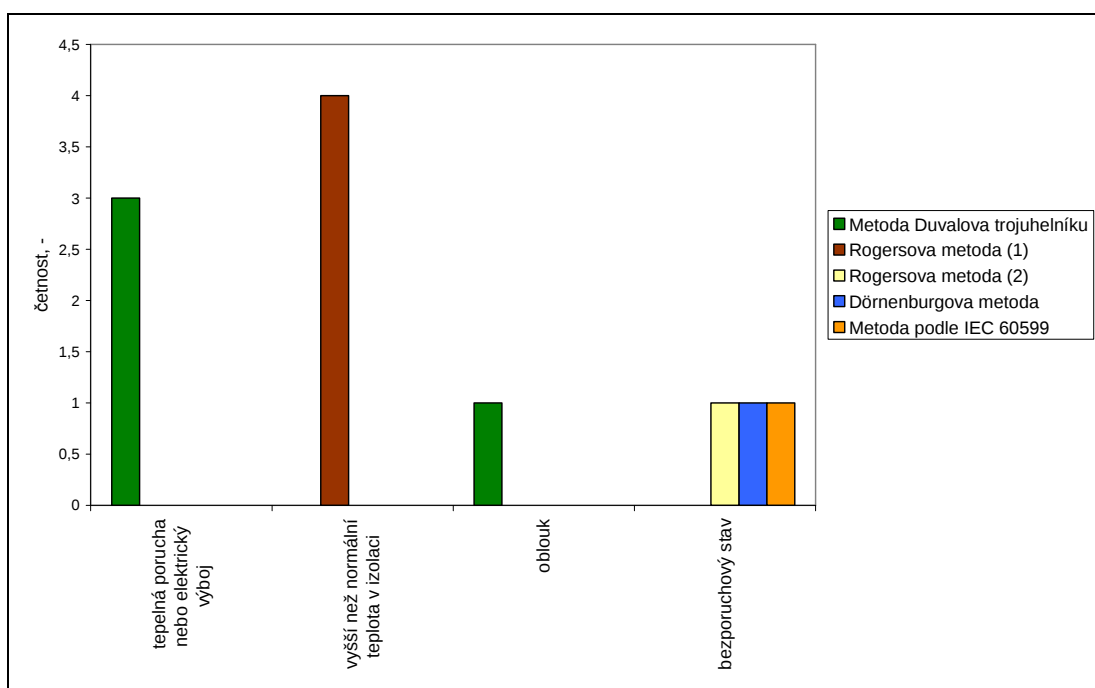
Plyn	Transformátor 9					
	Q1	median	Q3	IQRange	N	extrémní hodnoty
CH ₄	2,075	5,6	8,35	6,275	12	271,1 50194,1
C ₂ H ₆	1,825	3,25	4,475	2,65	12	
C ₂ H ₄	6,05	12,25	18,9	12,85	12	
C ₂ H ₂	1,275	1,85	3,175	1,9	12	
C ₃ H ₈	5,7	15,25	23,625	17,925	12	
ΣC _x H _y	12,325	24	34,025	21,7	12	
H ₂	14,15	22,6	44,475	30,325	12	
CO ₂	29,7	369,65	503,1	211,4	12	
CO	25,975	46,65	88,625	62,65	12	
O ₂	5972,95	10212,8	12600,3	6627,35	12	
N ₂	16840,4	22206,5	28225,6	4385,2	12	
Q _p	2,5525	3,38	4,6	2,0475	12	
C ₄ H ₁₀	3,975	17,4	28,05	24,075	12	



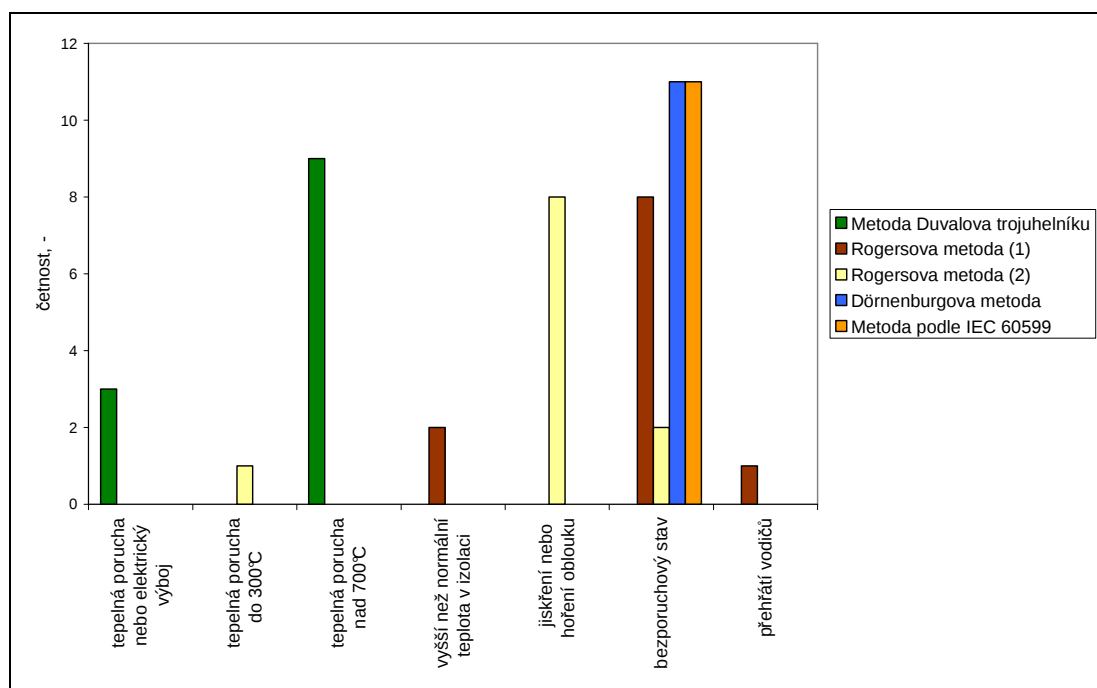
Obr. 1.2 Grafické vyjádření četnosti poruch pro jednotlivé metody u transformátoru 2



Obr. 1.3 Grafické vyjádření četnosti poruch pro jednotlivé metody u transformátoru 6



Obr. 1.4 Grafické vyjádření četnosti poruch pro jednotlivé metody u transformátoru 7



Obr. 1.5 Grafické vyjádření četnosti poruch pro jednotlivé metody u transformátoru 9

Příloha 2: Posouzení výsledků ostatních veličin

Tab. 2.1 Rovnice proložení grafů časové závislosti ostatních veličin

Transformátor	$tg_{20}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,003x - 0,0077$	$y = -0,0002x^2 + 0,0059x - 0,016$	$y = -0,0002x^3 + 0,0037x^2 - 0,018x + 0,0112$
2	$y = 0,0118x - 0,0349$	$y = -0,0004x^2 + 0,019x - 0,0565$	$y = -0,0005x^3 + 0,0113x^2 - 0,053x + 0,0264$
3	$y = -3 \cdot 10^{-6}x + 0,0079$	$y = 0,00002x^2 - 0,0017x + 0,037$	$y = 2 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,002x^2 + 0,0725x - 0,8503$
4	$y = 9 \cdot 10^{-5}x + 0,0014$	$y = 1 \cdot 10^{-4}x^2 - 0,0065x + 0,1094$	$y = 1 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0011x^2 + 0,0338x - 0,3361$
5	$y = 0,0003x + 0,0005$	$y = -5 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0037x - 0,0587$	$y = 2 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0003x^2 + 0,0123x - 0,1558$
6	$y = 0,0051x - 0,0045$	$y = 0,0007x^2 - 0,0014x + 0,0004$	
7	$y = 0,0116x - 0,184$	$y = 0,0015x^2 - 0,0487x + 0,3892$	$y = 0,0002x^3 - 0,0075x^2 + 0,117x - 0,6036$
8	$y = -0,0041x + 0,0417$	$y = 0,0062x^2 - 0,0907x + 0,3274$	
9	$y = 0,0009x - 0,0019$	$y = -0,0007x^2 + 0,0128x - 0,046$	$y = -0,0007x^3 + 0,016x^2 - 0,1176x + 0,2702$
Transformátor	$tg_{70}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0545x - 0,1518$	$y = -0,0025x^2 + 0,0959x - 0,2663$	$y = -0,0029x^3 + 0,0667x^2 - 0,3369x + 0,213$
2	$y = 1,4294x - 7,4216$	$y = 0,235x^2 - 2,543x + 4,096$	$y = 0,021x^3 - 0,2668x^2 + 0,5623x + 0,5482$
3	$y = 0,0057x - 0,1692$	$y = 0,0013x^2 - 0,0911x + 1,5504$	$y = 0,0001x^3 - 0,0116x^2 + 0,3897x - 4,2068$
4	$y = 0,0008x + 0,0232$	$y = 0,0012x^2 - 0,0794x + 1,3359$	$y = 9 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,008x^2 + 0,2308x - 2,0962$
5	$y = 0,0037x - 0,0185$	$y = -0,0004x^2 + 0,036x - 0,5756$	$y = 3 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0044x^2 + 0,1761x - 2,1599$
6	$y = 0,0237x - 0,0188$	$y = 0,0028x^2 - 0,0033x + 0,0017$	
7	$y = 0,1227x - 1,9467$	$y = 0,0138x^2 - 0,4267x + 3,2784$	$y = -0,0015x^3 + 0,0988x^2 - 1,9887x + 12,64$
8	$y = 0,012x - 0,0288$	$y = 0,0289x^2 - 0,3883x + 1,2919$	
9	$y = 0,007x - 0,0329$	$y = -0,0024x^2 + 0,046x - 0,1795$	$y = -0,0051x^3 + 0,1203x^2 - 0,894x + 2,1039$
Transformátor	$tg_{90}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,1319x - 0,3709$	$y = -0,0057x^2 + 0,2265x - 0,632$	$y = -0,0068x^3 + 0,1593x^2 - 0,805x + 0,5094$
2	$y = 1,8907x - 9,7415$	$y = 0,304x^2 - 3,2486x + 5,159$	$y = 0,0258x^3 - 0,3126x^2 + 0,567x + 0,7996$
3	$y = 0,014x - 0,4191$	$y = 0,0032x^2 - 0,2216x + 3,7648$	$y = 0,0003x^3 - 0,0285x^2 + 0,9595x - 10,377$
4	$y = 0,0003x + 0,0857$	$y = 0,002x^2 - 0,1364x + 2,3244$	$y = 0,0001x^3 - 0,0124x^2 + 0,3509x - 3,0669$
5	$y = 0,0087x - 0,0718$	$y = -0,0007x^2 + 0,061x - 0,9764$	$y = 8 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,01x^2 + 0,393x - 4,7293$
6	$y = 0,0517x - 0,0409$	$y = 0,0061x^2 - 0,0071x + 0,0038$	
7	$y = 0,2282x - 3,6151$	$y = 0,025x^2 - 0,7685x + 5,8642$	$y = -0,0034x^3 + 0,2202x^2 - 4,357x + 27,369$
8	$y = 0,0239x - 0,0635$	$y = 0,056x^2 - 0,7515x + 2,4944$	
9	$y = 0,0214x - 0,1131$	$y = -0,0028x^2 + 0,067x - 0,2839$	$y = -0,0105x^3 + 0,2485x^2 - 1,858x + 4,3914$

Transformátor	$\sigma(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,0023x + 0,1205$	$y = -0,0014x^2 + 0,021x + 0,0548$	$y = 5 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0026x^2 + 0,0286x + 0,0468$
2	$y = -0,0005x + 0,0485$	$y = 9 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,002x + 0,0528$	$y = 9 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0001x^2 - 0,0007x + 0,0513$
3	$y = 4 \cdot 10^{-5}x + 0,037$	$y = -3 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0022x - 0,0023$	$y = 2 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0002x^2 + 0,0089x - 0,083$
4	$y = 0,0005x + 0,0217$	$y = 1 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0003x + 0,0344$	$y = 8 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0008x^2 + 0,0282x - 0,283$
5	$y = 0,0001x + 0,0365$	$y = -3 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,0004x + 0,0326$	$y = 1 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0001x^2 + 0,0043x - 0,0123$
6	$y = -0,0002x + 0,0448$	$y = -0,0001x^2 + 0,0009x + 0,044$	
7	$y = -0,0008x + 0,0648$	$y = -8 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0024x + 0,0343$	$y = -4 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,002x^2 - 0,0396x + 0,2855$
8	$y = 6 \cdot 10^{-5}x + 0,0531$	$y = -0,0004x^2 + 0,006x + 0,0333$	
9	$y = -0,0003x + 0,0558$	$y = 0,0001x^2 - 0,0022x + 0,0629$	$y = -4 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,001x^2 - 0,0099x + 0,0815$
Transformátor	$\epsilon_{r20}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,0013x + 2,2578$	$y = -0,0006x^2 + 0,0086x + 2,231$	$y = -9 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0015x^2 - 0,0046x + 2,245$
2	$y = 0,0013x + 2,2332$	$y = -7 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0025x + 2,2296$	$y = -3 \cdot 10^{-7}x^3 - 7 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0025x + 2,2297$
3	$y = -0,0041x + 2,4047$	$y = 0,0001x^2 - 0,0146x + 2,5908$	$y = 1 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0013x^2 + 0,0386x + 1,9541$
4	$y = -0,0044x + 2,4334$	$y = -0,0007x^2 + 0,0445x + 1,632$	$y = -8 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0072x^2 - 0,2238x + 4,602$
5	$y = -0,0023x + 2,3314$	$y = 6 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0027x + 2,3391$	$y = 1 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0016x^2 + 0,0566x + 1,6683$
6	$y = -0,0014x + 2,1952$	$y = -0,0014x^2 + 0,0119x + 2,185$	
7	$y = -0,0027x + 2,302$	$y = -0,0004x^2 + 0,0136x + 2,147$	$y = 9 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0052x^2 + 0,1024x + 1,6145$
8	$y = 0,0063x + 2,1539$	$y = 0,0031x^2 - 0,0363x + 2,2941$	
9	$y = 0,0011x + 2,1968$	$y = -0,0006x^2 + 0,0104x + 2,162$	$y = -0,0013x^3 + 0,0309x^2 - 0,2309x + 2,748$
Transformátor	$\epsilon_{r70}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,0009x + 2,1945$	$y = -0,0005x^2 + 0,0074x + 2,172$	$y = -8 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0013x^2 - 0,004x + 2,1843$
2	$y = 1,3373x - 4,8174$	$y = 0,224x^2 - 2,4486x + 6,1593$	$y = 0,0207x^3 - 0,2705x^2 + 0,6115x + 2,663$
3	$y = -0,0038x + 2,3302$	$y = 4 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0069x + 2,3844$	$y = 6 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0007x^2 + 0,0208x + 2,0529$
4	$y = -0,0025x + 2,3089$	$y = -0,0005x^2 + 0,0283x + 1,804$	$y = -5 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0052x^2 - 0,164x + 3,9328$
5	$y = -0,0023x + 2,2733$	$y = -3 \cdot 10^{-5}x^2 - 3 \cdot 10^{-5}x + 2,2344$	$y = 8 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0009x^2 + 0,031x + 1,8842$
6	$y = -0,0002x + 2,1331$	$y = 0,0014x^2 - 0,0133x + 2,1431$	
7	$y = -0,005x + 2,2774$	$y = -0,0002x^2 + 0,0017x + 2,214$	$y = 0,0008x^3 - 0,0456x^2 + 0,8368x - 2,7906$
8	$y = 0,0108x + 2,0627$	$y = -0,0007x^2 + 0,0199x + 2,033$	
9	$y = 0,0009x + 2,133$	$y = -0,0004x^2 + 0,0075x + 2,108$	$y = -0,0029x^3 + 0,0701x^2 - 0,5324x + 3,419$

Transformátor	$\epsilon_{r90}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,0009x + 2,171$	$y = -0,0005x^2 + 0,007x + 2,1494$	$y = -6 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,001x^2 - 0,0028x + 2,1603$
2	$y = 1,7319x - 6,9059$	$y = 0,2901x^2 - 3,1728x + 7,3146$	$y = 0,0267x^3 - 0,3503x^2 + 0,7906x + 2,786$
3	$y = -0,0036x + 2,297$	$y = -2 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0022x + 2,274$	$y = 4 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0005x^2 + 0,0164x + 2,0505$
4	$y = -0,0022x + 2,274$	$y = -0,0005x^2 + 0,0287x + 1,767$	$y = -5 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,005x^2 - 0,1586x + 3,8399$
5	$y = -0,0022x + 2,247$	$y = -5 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0015x + 2,1829$	$y = 5 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0006x^2 + 0,0214x + 1,9583$
6	$y = -0,0007x + 2,114$	$y = 0,0008x^2 - 0,0083x + 2,1197$	
7	$y = -0,0057x + 2,265$	$y = -0,0002x^2 + 0,001x + 2,2014$	$y = 0,0009x^3 - 0,0489x^2 + 0,8969x - 3,1674$
8	$y = 0,0125x + 2,0292$	$y = -0,0015x^2 + 0,034x + 1,9596$	
9	$y = -0,0002x + 2,122$	$y = -0,0012x^2 + 0,0185x + 2,052$	$y = -0,0023x^3 + 0,0528x^2 - 0,395x + 3,0564$
Transformátor	$\rho_{20}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,7428x + 98,322$	$y = 2,9529x^2 - 48,53x + 226,47$	$y = 0,8475x^3 - 17,398x^2 + 75,34x + 113,19$
2	$y = -9,0872x + 153,7$	$y = -0,193x^2 - 5,8258x + 144,59$	$y = 0,232x^3 - 5,6998x^2 + 27,179x + 112,79$
3	$y = 14,029x - 446$	$y = 2,1913x^2 - 148,57x + 2412,1$	$y = 0,1947x^3 - 20,494x^2 + 703,91x - 7840$
4	$y = 0,2431x + 2,0054$	$y = -0,1801x^2 + 12,554x - 200,01$	$y = -0,0139x^3 + 1,251x^2 - 35,644x + 329,65$
5	$y = 60,73x - 1926,1$	$y = 6,761x^2 - 432,64x + 6507,3$	$y = 0,5009x^3 - 49,705x^2 + 1598,8x - 16519$
6	$y = 101,17x + 191,7$	$y = 9,0046x^2 + 14,72x + 257,43$	
7	$y = 49,234x - 753,58$	$y = 2,8589x^2 - 64,55x + 328,61$	$y = -4,6827x^3 + 267,9x^2 - 4938,1x + 29532$
8	$y = 39,023x + 779,13$	$y = -505,92x^2 + 7049,7x - 22349$	
9	$y = 1888,2x - 11995$	$y = 778,14x^2 - 10562x + 34693$	$y = 209,81x^3 - 4257,4x^2 + 28002x - 58967$
Transformátor	$\rho_{70}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,2494x + 10,26$	$y = 0,3609x^2 - 5,772x + 25,921$	$y = 0,0448x^3 - 0,7147x^2 + 0,7748x + 19,93$
2	$y = -0,1524x + 15,457$	$y = 0,4103x^2 - 7,0931x + 34,836$	$y = -0,0007x^3 + 0,426x^2 - 7,1874x + 34,927$
3	$y = 1,0982x - 34,353$	$y = 0,158x^2 - 10,624x + 171,69$	$y = 0,0149x^3 - 1,5836x^2 + 54,822x - 615,37$
4	$y = 0,0289x - 0,1983$	$y = -0,0113x^2 + 0,7984x - 12,83$	$y = -0,0004x^3 + 0,028x^2 - 0,5284x + 1,755$
5	$y = 4,415x - 134,14$	$y = 0,4181x^2 - 26,091x + 387,32$	$y = 0,0282x^3 - 2,7569x^2 + 88,133x - 907,37$
6	$y = 10,164x + 115,16$	$y = 0,6345x^2 + 4,0724x + 119,79$	
7	$y = 9,641x - 143,85$	$y = 0,9826x^2 - 29,468x + 228,11$	$y = -0,9459x^3 + 54,52x^2 - 1013,9x + 6127,1$
8	$y = -3,2057x + 72,89$	$y = 0,0273x^2 - 3,5836x + 74,138$	
9	$y = 167,06x - 990,62$	$y = 82,833x^2 - 1158,3x + 3979,4$	$y = 22,05x^3 - 446,37x^2 + 2894,5x - 5863,7$

Transformátor	$\rho_{90}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,1775x + 3,064$	$y = 0,1352x^2 - 2,6835x + 13,414$	$y = 0,0045x^3 - 0,0174x^2 - 1,3798x + 11,507$
2	$y = 1,0974x + 0,7852$	$y = 0,393x^2 - 5,5575x + 19,366$	$y = 0,0181x^3 - 0,0349x^2 - 2,9905x + 16,892$
3	$y = -0,1987x + 10,337$	$y = 0,047x^2 - 3,0582x + 48,317$	$y = 0,0062x^3 - 0,6384x^2 + 21,628x - 238,3$
4	$y = 0,0147x - 0,0951$	$y = -0,0043x^2 + 0,3096x - 4,9347$	$y = -0,0002x^3 + 0,016x^2 - 0,3869x + 2,7199$
5	$y = 2,5381x - 78,835$	$y = 0,2604x^2 - 16,463x + 245,96$	$y = 0,0187x^3 - 1,844x^2 + 59,261x - 612,34$
6	$y = 9,76x + 1,22$	$y = 1,699x^2 - 6,5521x + 13,624$	
7	$y = 5,3222x - 78,628$	$y = 0,765x^2 - 25,125x + 210,96$	$y = -0,378x^3 + 22,166x^2 - 418,62x + 2568,9$
8	$y = -10,243x + 109,59$	$y = 1,3659x^2 - 29,17x + 172,03$	
9	$y = 80,67x - 496,38$	$y = 34,198x^2 - 466,49x + 1555,5$	$y = 12,454x^3 - 264,7x^2 + 1822,6x - 4004,1$
Transformátor	$\rho_v(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,0008x + 0,8891$	$y = -1 \cdot 10^{-4}x^2 + 0,0008x + 0,8847$	$y = -4 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0008x^2 - 0,0049x + 0,891$
2	$y = -0,0003x + 0,8838$	$y = 3 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0007x + 0,8852$	$y = -8 \cdot 10^{-7}x^3 + 5 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0009x + 0,8854$
3	$y = -0,0007x + 0,9078$	$y = 4 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0039x + 0,9672$	$y = 1 \cdot 10^{-6}x^3 - 1 \cdot 10^{-4}x^2 + 0,0014x + 0,901$
4	$y = -0,0006x + 0,9078$	$y = -5 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0031x + 0,8453$	$y = -9 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,0009x^2 - 0,031x + 1,2327$
5	$y = -0,0002x + 0,888$	$y = 3 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0004x + 0,8919$	$y = 8 \cdot 10^{-8}x^3 - 7 \cdot 10^{-6}x^2 - 5 \cdot 10^{-5}x + 0,8878$
6	$y = -0,0004x + 0,8736$	$y = -0,0002x^2 + 0,0012x + 0,872$	
7	$y = -0,0012x + 0,9073$	$y = -8 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0018x + 0,8783$	$y = 6 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0033x^2 + 0,0616x + 0,5201$
8	$y = 0,002x + 0,8575$	$y = 0,0006x^2 - 0,0065x + 0,8855$	
9	$y = -0,0004x + 0,8752$	$y = -8 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,001x + 0,8702$	$y = 2 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0006x^2 + 0,0048x + 0,8609$

Tab. 2.2 Rovnice proložení grafů časové závislostí ostatních veličin pro upravené soubory

Transformátor	$tg_{20}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0018x - 0,0064$	$y = 5 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,001x - 0,004$	$y = -6 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0016x^2 - 0,0085x + 0,006$
2	$y = 7 \cdot 10^{-5}x - 0,0001$	$y = 7 \cdot 10^{-6}x^2 - 5 \cdot 10^{-5}x + 0,0002$	$y = 6 \cdot 10^{-7}x^3 - 6 \cdot 10^{-6}x^2 + 3 \cdot 10^{-5}x + 0,0001$
3	$y = -0,00016x + 0,008$	$y = -0,0000x^2 + 0,0003x + 0,0001$	$y = 1 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0002x^2 + 0,0057x - 0,0612$
4	$y = 9 \cdot 10^{-5}x + 0,0014$	$y = 1 \cdot 10^{-4}x^2 - 0,0065x + 0,1094$	$y = 1 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0011x^2 + 0,0338x - 0,3361$
5	$y = -7 \cdot 10^{-5}x + 0,0034$	$y = -9 \cdot 10^{-7}x^2 - 7 \cdot 10^{-6}x + 0,0024$	$y = -6 \cdot 10^{-7}x^3 + 7 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0022x + 0,0261$
6	$y = 0,0051x - 0,0045$	$y = 0,0007x^2 - 0,0014x + 0,0004$	
7	$y = 0,0116x - 0,184$	$y = 0,0015x^2 - 0,0487x + 0,3892$	$y = 0,0002x^3 - 0,0075x^2 + 0,117x - 0,6036$
8	$y = -0,0041x + 0,0417$	$y = 0,0062x^2 - 0,0907x + 0,3274$	
9	$y = 0,0009x - 0,0019$	$y = -0,0007x^2 + 0,0128x - 0,046$	$y = -0,0007x^3 + 0,016x^2 - 0,1176x + 0,2702$

Transformátor	$tg_{70}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0188x - 0,0721$	$y = 0,0011x^2 - 0,0004x - 0,0194$	$y = -0,0005x^3 + 0,0137x^2 - 0,0756x + 0,058$
2	$y = 0,0633x - 0,2732$	$y = 0,0064x^2 - 0,0416x + 0,0234$	$y = -0,0001x^3 + 0,009x^2 - 0,0583x + 0,0424$
3	$y = -0,001x + 0,0524$	$y = 4 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0036x + 0,0978$	$y = -9 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,001x^2 - 0,0369x + 0,4799$
4	$y = 0,0008x + 0,0232$	$y = 0,0012x^2 - 0,0794x + 1,3359$	$y = 9 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,008x^2 + 0,2308x - 2,0962$
5	$y = -0,0009x + 0,0437$	$y = -4 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0007x + 0,0399$	$y = -5 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,0005x^2 - 0,0187x + 0,232$
6	$y = 0,0237x - 0,0188$	$y = 0,0028x^2 - 0,0033x + 0,0017$	
7	$y = 0,1227x - 1,9467$	$y = 0,0138x^2 - 0,4267x + 3,2784$	$y = -0,0015x^3 + 0,0988x^2 - 1,9887x + 12,64$
8	$y = 0,012x - 0,0288$	$y = 0,0289x^2 - 0,3883x + 1,2919$	
9	$y = 0,007x - 0,0329$	$y = -0,0024x^2 + 0,0461x - 0,1795$	$y = -0,0051x^3 + 0,1203x^2 - 0,894x + 2,1039$
Transformátor	$tg_{90}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0453x - 0,1748$	$y = 0,0029x^2 - 0,0036x - 0,0403$	$y = -0,0012x^3 + 0,0309x^2 - 0,172x + 0,1326$
2	$y = 0,1487x - 0,6264$	$y = 0,0129x^2 - 0,0633x - 0,0269$	$y = -0,0011x^3 + 0,039x^2 - 0,2235x + 0,1551$
3	$y = -0,0024x + 0,1243$	$y = 9 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0092x + 0,2431$	$y = -1 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0017x^2 - 0,065x + 0,8866$
4	$y = 0,0003x + 0,0857$	$y = 0,002x^2 - 0,1364x + 2,3244$	$y = 0,0001x^3 - 0,0124x^2 + 0,3509x - 3,0669$
5	$y = -0,0021x + 0,1013$	$y = 9 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0027x + 0,1112$	$y = -1 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0014x^2 - 0,048x + 0,5934$
6	$y = 0,0517x - 0,0409$	$y = 0,0061x^2 - 0,0071x + 0,0038$	
7	$y = 0,2282x - 3,6151$	$y = 0,025x^2 - 0,7685x + 5,8642$	$y = -0,0034x^3 + 0,2202x^2 - 4,357x + 27,369$
8	$y = 0,0239x - 0,0635$	$y = 0,056x^2 - 0,7515x + 2,4944$	
9	$y = 0,0214x - 0,1131$	$y = -0,0028x^2 + 0,067x - 0,2839$	$y = -0,0105x^3 + 0,2485x^2 - 1,858x + 4,3914$
Transformátor	$\sigma(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,0005x + 0,0467$	$y = 3 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,001x + 0,0482$	$y = 2 \cdot 10^{-6}x^3 - 1 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0008x + 0,0479$
2	$y = -0,0005x + 0,0485$	$y = 9 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,002x + 0,0528$	$y = 9 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0001x^2 - 0,0007x + 0,0513$
3	$y = 2 \cdot 10^{-5}x + 0,0367$	$y = -2 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0015x + 0,0104$	$y = 2 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0002x^2 + 0,009x - 0,0794$
4	$y = 0,0005x + 0,0217$	$y = 1 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0003x + 0,0344$	$y = 8 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0008x^2 + 0,0282x - 0,283$
5	$y = 0,0001x + 0,0365$	$y = -3 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,0004x + 0,0326$	$y = 1 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0001x^2 + 0,0043x - 0,0123$
6	$y = -0,0002x + 0,0448$	$y = -0,0001x^2 + 0,0009x + 0,044$	
7	$y = -0,0008x + 0,0648$	$y = -8 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0024x + 0,0343$	$y = -4 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,002x^2 - 0,0396x + 0,2855$
8	$y = 6 \cdot 10^{-5}x + 0,0531$	$y = -0,0004x^2 + 0,006x + 0,0333$	
9	$y = -0,0003x + 0,0558$	$y = 0,0001x^2 - 0,0022x + 0,0629$	$y = -4 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,001x^2 - 0,0099x + 0,0815$

Transformátor	$\epsilon_{r20}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0004x + 2,2487$	$y = -0,0002x^2 + 0,004x + 2,2388$	$y = -2 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0002x^2 + 0,0015x + 2,241$
2	$y = 0,0008x + 2,2356$	$y = -0,0002x^2 + 0,0035x + 2,228$	$y = -9 \cdot 10^{-6}x^3 + 4 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0022x + 2,2295$
3	$y = -0,0041x + 2,4047$	$y = 0,0001x^2 - 0,0146x + 2,5908$	$y = 1 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0013x^2 + 0,0386x + 1,9541$
4	$y = -0,0014x + 2,3452$	$y = -7 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0029x + 2,2763$	$y = 4 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0044x^2 + 0,1394x + 0,8578$
5	$y = -0,0023x + 2,3314$	$y = 6 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0027x + 2,3391$	$y = 1 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0016x^2 + 0,0566x + 1,6683$
6	$y = -0,0014x + 2,1952$	$y = -0,0014x^2 + 0,0119x + 2,185$	
7	$y = -0,0027x + 2,302$	$y = -0,0004x^2 + 0,0136x + 2,147$	$y = 1 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0052x^2 + 0,1024x + 1,6145$
8	$y = 0,0063x + 2,1539$	$y = 0,0031x^2 - 0,0363x + 2,2941$	
9	$y = 0,0011x + 2,1968$	$y = -0,0006x^2 + 0,0104x + 2,162$	$y = -0,0013x^3 + 0,0309x^2 - 0,231x + 2,748$
Transformátor	$\epsilon_{r70}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0005x + 2,1867$	$y = -0,0002x^2 + 0,0036x + 2,179$	$y = -2 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0002x^2 + 0,001x + 2,1812$
2	$y = 0,001x + 2,175$	$y = -0,0002x^2 + 0,0041x + 2,166$	$y = -7 \cdot 10^{-6}x^3 - 2 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0031x + 2,1673$
3	$y = -0,0038x + 2,3302$	$y = 4 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0069x + 2,3844$	$y = 6 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0007x^2 + 0,0208x + 2,0529$
4	$y = -0,0005x + 2,2489$	$y = 5 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0041x + 2,3057$	$y = 8 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0079x^2 + 0,2491x - 0,3258$
5	$y = -0,0023x + 2,2733$	$y = -3 \cdot 10^{-5}x^2 - 3 \cdot 10^{-5}x + 2,2344$	$y = 8 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0009x^2 + 0,031x + 1,8842$
6	$y = -0,0002x + 2,1331$	$y = 0,0014x^2 - 0,0133x + 2,1431$	
7	$y = -0,005x + 2,2774$	$y = -0,0002x^2 + 0,0017x + 2,214$	$y = 0,0008x^3 - 0,0456x^2 + 0,8368x - 2,7906$
8	$y = 0,0108x + 2,0627$	$y = -0,0007x^2 + 0,0199x + 2,033$	
9	$y = 0,0009x + 2,133$	$y = -0,0004x^2 + 0,0075x + 2,108$	$y = -0,0029x^3 + 0,07x^2 - 0,5324x + 3,4193$
Transformátor	$\epsilon_{r90}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0003x + 2,1642$	$y = -0,0002x^2 + 0,0036x + 2,156$	$y = -1 \cdot 10^{-5}x^3 + 9 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0019x + 2,157$
2	$y = 0,001x + 2,1512$	$y = -0,0002x^2 + 0,0042x + 2,142$	$y = -1 \cdot 10^{-5}x^3 + 7 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0026x + 2,1441$
3	$y = -0,0036x + 2,2973$	$y = -2 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0022x + 2,274$	$y = 4 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0005x^2 + 0,0164x + 2,0505$
4	$y = -0,0002x + 2,214$	$y = 5 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0034x + 2,2646$	$y = 9 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0089x^2 + 0,2796x - 0,6771$
5	$y = -0,0022x + 2,2471$	$y = -5 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0015x + 2,1829$	$y = 5 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0006x^2 + 0,0214x + 1,9583$
6	$y = -0,0007x + 2,1139$	$y = 0,0008x^2 - 0,0083x + 2,1197$	
7	$y = -0,0057x + 2,265$	$y = -0,0002x^2 + 0,001x + 2,2014$	$y = 0,0009x^3 - 0,0489x^2 + 0,8969x - 3,1674$
8	$y = 0,0125x + 2,0292$	$y = -0,0015x^2 + 0,034x + 1,9596$	
9	$y = -0,0002x + 2,122$	$y = -0,0012x^2 + 0,0185x + 2,052$	$y = -0,0023x^3 + 0,0528x^2 - 0,395x + 3,0564$

Transformátor	$\rho_{20}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -5,9042x + 106,74$	$y = 0,3151x^2 - 10,835x + 118,54$	$y = 0,1423x^3 - 2,8654x^2 + 6,466x + 110,77$
2	$y = -9,0872x + 153,7$	$y = -0,193x^2 - 5,8258x + 144,59$	$y = 0,232x^3 - 5,6998x^2 + 27,179x + 112,79$
3	$y = 2,4219x - 55,379$	$y = 0,0158x^2 + 1,2988x - 36,426$	$y = 0,0009x^3 - 0,0844x^2 + 4,8458x - 77,029$
4	$y = 0,2431x + 2,0054$	$y = -0,18x^2 + 12,554x - 200,01$	$y = -0,0139x^3 + 1,251x^2 - 35,644x + 329,65$
5	$y = 6,5988x - 152,37$	$y = 0,6606x^2 - 37,806x + 546,89$	$y = 0,0318x^3 - 2,6372x^2 + 72,69x - 636,2$
6	$y = 101,17x + 191,7$	$y = 9,0046x^2 + 14,724x + 257,4$	
7	$y = 49,234x - 753,58$	$y = 2,8589x^2 - 64,55x + 328,61$	$y = -4,6827x^3 + 267,9x^2 - 4938,1x + 29532$
8	$y = 39,023x + 779,13$	$y = -505,92x^2 + 7049,7x - 22349$	
9	$y = 1888,2x - 11995$	$y = 778,14x^2 - 10562x + 34693$	$y = 209,81x^3 - 4257,4x^2 + 28002x - 58967$
Transformátor	$\rho_{70}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,2494x + 10,26$	$y = 0,3609x^2 - 5,772x + 25,921$	$y = 0,0448x^3 - 0,7147x^2 + 0,7748x + 19,93$
2	$y = -0,9146x + 15,061$	$y = 0,0705x^2 - 2,2539x + 20,249$	$y = -0,0116x^3 + 0,4009x^2 - 5,06x + 27,028$
3	$y = 0,1928x - 4,4871$	$y = -0,0013x^2 + 0,283x - 6,0105$	$y = -0,0007x^3 + 0,0745x^2 - 2,394x + 24,55$
4	$y = 0,0289x - 0,1983$	$y = -0,0113x^2 + 0,798x - 12,826$	$y = -0,0004x^3 + 0,028x^2 - 0,5284x + 1,7553$
5	$y = 1,009x - 22,562$	$y = 0,0197x^2 - 0,3168x - 1,683$	$y = -0,0165x^3 + 1,728x^2 - 57,566x + 611,29$
6	$y = 10,164x + 115,16$	$y = 0,6345x^2 + 4,0724x + 119,79$	
7	$y = 9,641x - 143,85$	$y = 0,9826x^2 - 29,468x + 228,11$	$y = -0,9459x^3 + 54,52x^2 - 1013,9x + 6127,1$
8	$y = -3,2057x + 72,891$	$y = 0,0273x^2 - 3,5836x + 74,138$	
9	$y = 167,06x - 990,62$	$y = 82,833x^2 - 1158,3x + 3979,4$	$y = 22,05x^3 - 446,37x^2 + 2894,5x - 5863,7$
Transformátor	$\rho_{90}(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,1775x + 3,064$	$y = 0,1352x^2 - 2,6835x + 13,414$	$y = 0,0045x^3 - 0,0174x^2 - 1,3798x + 11,507$
2	$y = -0,3807x + 5,9303$	$y = 0,3934x^2 - 5,5575x + 19,366$	$y = 0,0039x^3 - 0,0737x^2 - 0,1368x + 6,3486$
3	$y = 0,0754x - 1,6886$	$y = -0,0019x^2 + 0,2116x - 3,987$	$y = -0,0003x^3 + 0,0346x^2 - 1,078x + 10,737$
4	$y = 0,0147x - 0,0951$	$y = -0,004x^2 + 0,3096x - 4,9347$	$y = -0,0002x^3 + 0,016x^2 - 0,3869x + 2,7199$
5	$y = 0,4127x - 9,208$	$y = 0,0106x^2 - 0,3023x + 2,0517$	$y = -0,0059x^3 + 0,628x^2 - 20,989x + 223,54$
6	$y = 9,76x + 1,22$	$y = 1,6992x^2 - 6,5521x + 13,624$	
7	$y = 5,3222x - 78,628$	$y = 0,765x^2 - 25,125x + 210,96$	$y = -0,378x^3 + 22,166x^2 - 418,62x + 2568,9$
8	$y = -10,243x + 109,59$	$y = 1,3659x^2 - 29,17x + 172,03$	
9	$y = 80,67x - 496,38$	$y = 34,198x^2 - 466,49x + 1555,5$	$y = 12,454x^3 - 264,7x^2 + 1822,6x - 4004,1$

Transformátor	$\rho_v(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,0004x + 0,8869$	$y = 2 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0004x + 0,887$	$y = -3 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0006x^2 - 0,0038x + 0,89$
2	$y = -0,0003x + 0,8838$	$y = 3 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0007x + 0,8852$	$y = -8 \cdot 10^{-7}x^3 + 5 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0009x + 0,8854$
3	$y = -0,0007x + 0,9078$	$y = 4 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0039x + 0,9672$	$y = 1 \cdot 10^{-6}x^3 - 1 \cdot 10^{-4}x^2 + 0,0014x + 0,901$
4	$y = -0,0003x + 0,8995$	$y = 2 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,002x + 0,9265$	$y = -6 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,0006x^2 - 0,0197x + 1,114$
5	$y = -0,0002x + 0,8897$	$y = -4 \cdot 10^{-7}x^2 - 0,0002x + 0,8891$	$y = 1 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0001x^2 + 0,0042x + 0,8377$
6	$y = -0,0004x + 0,8736$	$y = -0,0002x^2 + 0,001x + 0,8724$	
7	$y = -0,0012x + 0,9073$	$y = -8 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0018x + 0,8783$	$y = 6 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0033x^2 + 0,0616x + 0,5201$
8	$y = 0,002x + 0,8575$	$y = 0,0006x^2 - 0,0065x + 0,8855$	
9	$y = -0,0004x + 0,8752$	$y = -8 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,001x + 0,8702$	$y = 2 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0006x^2 + 0,0048x + 0,8609$

Tab. 2.3 Rovnice proložení grafů časové závislosti čísla kyselosti

Transformátor	$\check{C}K(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0037x + 0,0069$	$y = 0,0001x^2 + 0,0018x + 0,0133$	$y = -1 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0004x^2 - 3 \cdot 10^{-5}x + 0,015$
2	$y = 0,0024x + 0,0127$	$y = 8 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,001x + 0,0167$	$y = -9 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,0003x^2 - 0,0003x + 0,018$
3	$y = 0,0008x + 0,0153$	$y = -3 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0029x - 0,022$	$y = 2 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0024x^2 + 0,0858x - 0,977$
4	$y = 0,0026x - 0,0478$	$y = 0,0014x^2 - 0,0973x + 1,6757$	$y = 0,0005x^3 - 0,0489x^2 + 1,6567x - 18,572$
5	$y = 0,0014x - 0,0047$	$y = -4 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0045x - 0,059$	$y = -4 \cdot 10^{-7}x^3 - 3 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,003x - 0,0428$
6	$y = 0,0004x + 0,0058$		
7	$y = 0,0002x + 0,0003$	$y = 2 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0005x + 0,0069$	$y = -2 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,0002x^2 - 0,003x + 0,0225$
8	$y = 0,0034x - 0,016$	$y = 0,0024x^2 - 0,0294x + 0,0911$	
9	$y = 0,001x - 0,0008$	$y = 1 \cdot 10^{-4}x^2 - 0,0005x + 0,0049$	$y = -0,0002x^3 + 0,005x^2 - 0,0388x + 0,0979$

Tab. 2.4 Rovnice proložení grafů časové závislosti průrazného napětí

Transformátor	$U_p(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,6257x + 86,518$	$y = 0,0409x^2 - 1,3111x + 88,411$	$y = -0,0059x^3 + 0,1826x^2 - 2,1973x + 89,39$
2	$y = -0,2055x + 82,735$	$y = 0,003x^2 - 0,256x + 82,881$	$y = -0,0171x^3 + 0,4136x^2 - 2,797x + 85,784$
3	$y = -0,3573x + 92,147$	$y = -0,029x^2 + 1,8123x + 53,755$	$y = 0,0014x^3 - 0,1963x^2 + 8,0683x - 21,288$
4	$y = -0,6957x + 104,98$	$y = 0,0043x^2 - 0,9925x + 109,96$	$y = -0,0164x^3 + 1,7107x^2 - 59,013x + 753,6$
5	$y = -0,4115x + 91,874$	$y = -0,0064x^2 + 0,0548x + 83,83$	$y = -0,0052x^3 + 0,5741x^2 - 20,74x + 318,96$
6	$y = -2,648x + 85,894$	$y = -0,437x^2 + 1,546x + 82,705$	
7	$y = -0,187x + 81,353$	$y = 0,119x^2 - 4,924x + 126,41$	$y = -0,0355x^3 + 2,129x^2 - 41,882x + 347,86$
8	$y = -1,5779x + 93,794$	$y = 0,7119x^2 - 10,766x + 120,98$	$y = -0,5809x^3 + 12,197x^2 - 83,46x + 266,88$
9	$y = -0,85x + 89,2$	$y = 0,2295x^2 - 4,2464x + 100,49$	$y = -0,2233x^3 + 5,3203x^2 - 40,624x + 180,7$

Tab. 2.5 Rovnice proložení grafů časové závislosti průrazného napětí pro upravené soubory

Transformátor	$U_p(t)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,6257x + 86,518$	$y = 0,0409x^2 - 1,3111x + 88,411$	$y = -0,0059x^3 + 0,1826x^2 - 2,1973x + 89,39$
2	$y = -0,2055x + 82,735$	$y = 0,003x^2 - 0,256x + 82,881$	$y = -0,0171x^3 + 0,4136x^2 - 2,797x + 85,784$
3	$y = -0,2599x + 89,067$	$y = -0,0224x^2 + 1,398x + 59,854$	$y = 0,0007x^3 - 0,1065x^2 + 4,5499x + 22,02$
4	$y = -0,6957x + 104,98$	$y = 0,0043x^2 - 0,9925x + 109,96$	$y = -0,0164x^3 + 1,7107x^2 - 59,013x + 753,6$
5	$y = -0,1509x + 85,324$	$y = 0,0006x^2 - 0,1936x + 86,043$	$y = -0,0038x^3 + 0,4268x^2 - 15,382x + 257,1$
6	$y = -2,648x + 85,894$	$y = -0,4369x^2 + 1,5459x + 82,71$	
7	$y = -0,187x + 81,353$	$y = 0,119x^2 - 4,924x + 126,41$	$y = -0,0355x^3 + 2,129x^2 - 41,882x + 347,86$
8	$y = -1,5779x + 93,794$	$y = 0,7119x^2 - 10,766x + 120,98$	$y = -0,5809x^3 + 12,197x^2 - 83,46x + 266,88$
9	$y = -0,85x + 89,2$	$y = 0,2295x^2 - 4,2464x + 100,49$	$y = -0,2233x^3 + 5,3203x^2 - 40,624x + 180,7$

Tab. 2.6 Rovnice proložení grafů závislosti průrazného napětí na plynech

Transformátor	$U_p(CH_4)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0209x + 80,719$	$y = -0,0003x^2 + 0,1215x + 79,19$	$y = -3 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,0009x^2 + 0,024x + 79,553$
2	$y = 1,5307x + 78,612$	$y = 0,0854x^2 + 0,8272x + 79,806$	$y = 0,1574x^3 - 0,9939x^2 + 2,497x + 79,572$
3	$y = 0,1986x + 75,091$	$y = 0,0215x^2 - 1,2064x + 79,743$	$y = 0,0016x^3 - 0,0964x^2 - 0,0122x + 78,926$
5	$y = -0,1043x + 73,488$	$y = 1,7534x^2 - 24,046x + 134,18$	$y = 0,2618x^3 - 3,9005x^2 + 12,623x + 67,47$
8	$y = 0,2964x + 80,653$	$y = 1,6196x^2 - 35,659x + 134,03$	$y = 0,0465x^3 + 0,0723x^2 - 22,68x + 117,04$
9	$y = 0,2203x + 81,52$	$y = 0,5219x^2 - 5,893x + 95,826$	$y = 0,2468x^3 - 3,981x^2 + 18,857x + 57,545$
Transformátor	$U_p(C_2H_6)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0546x + 80,133$	$y = -0,0013x^2 + 0,188x + 79,279$	$y = 2 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0044x^2 + 0,3005x + 79,076$
2	$y = 0,0426x + 81,158$	$y = -0,0271x^2 + 0,739x + 81,14$	$y = -0,253x^3 + 7,1327x^2 - 14,389x + 82,599$
3	$y = -0,4825x + 80,16$	$y = 0,7323x^2 - 5,2764x + 79,481$	$y = 0,327x^3 - 2,7294x^2 + 2,689x + 79,196$
5	$y = -0,1758x + 73,647$	$y = 0,8356x^2 - 7,7766x + 83,612$	$y = 0,5734x^3 - 6,7486x^2 + 17,68x + 67,338$
8	$y = 0,7919x + 80,434$	$y = -0,0871x^2 + 2,0427x + 78,87$	$y = 2,9093x^3 - 45,26x^2 + 101,96x + 22,573$
9	$y = -1,318x + 87,843$	$y = -1,3719x^2 + 8,2983x + 73,33$	$y = 0,5647x^3 - 7,4757x^2 + 28,529x + 53,53$

Transformátor	$U_p(C_2H_4)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0227x + 79,807$	$y = -0,0003x^2 + 0,1218x + 77,29$	$y = 1 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0009x^2 + 0,1929x + 76,309$
2	$y = -0,1643x + 82,778$	$y = 0,0065x^2 - 0,2934x + 83,084$	$y = 0,0086x^3 - 0,2619x^2 + 1,6851x + 81,275$
3	$y = -0,4228x + 85,239$	$y = -0,0215x^2 + 0,522x + 78,808$	$y = -0,0014x^3 + 0,0535x^2 - 0,349x + 79,044$
5	$y = -0,2317x + 77,833$	$y = -0,015x^2 + 0,2928x + 76,87$	$y = -0,008x^3 + 0,4271x^2 - 5,4014x + 82,291$
8	$y = 0,1711x + 80,926$	$y = -0,0435x^2 + 2,818x + 71,978$	$y = 0,0251x^3 - 1,6595x^2 + 13,465x + 53,663$
9	$y = 0,0625x + 82,084$	$y = 0,092x^2 - 2,28x + 93,998$	$y = 0,0154x^3 - 0,5036x^2 + 4,7094x + 70,235$
Transformátor	$U_p(C_2H_2)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,811x + 86,515$	$y = 0,1092x^2 - 2,3397x + 90,337$	$y = -0,0237x^3 + 0,6067x^2 - 5,2297x + 94,32$
2	$y = -0,6128x + 81,337$	$y = 35,086x^2 - 42,481x + 82,476$	$y = -205,98x^3 + 316,34x^2 - 83,483x + 82,59$
3	$y = -4,0392x + 85,757$	$y = -4,1529x^2 + 13,21x + 79,76$	$y = -3,7174x^3 + 22,677x^2 - 34,96x + 80,049$
5	$y = -2,7029x + 76,86$	$y = -1,4747x^2 + 0,959x + 77,307$	$y = 45,628x^3 - 233,73x^2 + 288,83x + 77,252$
8	$y = 5,2085x + 77,338$	$y = 15,112x_2 - 31,381x + 95,301$	$y = 11,859x^3 - 29,135x^2 + 19,083x + 78,277$
9	$y = -0,3481x + 83,779$	$y = -2,7678x^2 + 12,635x + 71,33$	$y = 4,7036x^3 - 36,778x^2 + 87,973x + 21,928$
Transformátor	$U_p(C_3H_8)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0188x + 81,324$	$y = -0,0059x^2 + 1,3638x + 73,76$	$y = 0,0008x^3 - 0,2009x^2 + 4,2944x + 65,327$
2	$y = -1,0228x + 86,175$	$y = -0,1293x^2 + 1,017x + 81,484$	$y = 0,2447x^3 - 4,0421x^2 + 10,622x + 80,386$
3	$y = -2,5079x + 87,764$	$y = -0,0176x^2 - 0,618x + 79,414$	$y = -6,41x^3 + 65,656x^2 - 177,81x + 140,23$
5	$y = -1,1162x + 87,594$	$y = -0,0716x^2 + 1,06x + 75,268$	$y = 0,0128x^3 - 0,6095x^2 + 6,8664x + 62,727$
8	$y = 0,2428x + 80,612$	$y = -0,089x^2 + 4,3096x + 66,478$	$y = -0,0499x^3 + 2,3934x^2 - 13,114x + 99,24$
9	$y = -0,1575x + 85,066$	$y = -0,0204x^2 + 0,4721x + 81,4$	$y = 0,0005x^3 - 0,0416x^2 + 0,7239x + 80,651$
Transformátor	$U_p(C_4H_{10})$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1			
2			
3	$y = -0,2381x + 84,143$	$y = -0,0118x^2 + 0,8738x + 64,2$	
5	$y = -0,1924x + 105,67$	$y = -0,0017x^2 + 0,3618x + 68,04$	$y = -2 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0043x^2 - 0,2216x + 80,486$
8	$y = 0,2289x + 80,839$	$y = 0,0378x^2 - 0,8144x + 83,611$	$y = 0,0055x^3 - 0,2049x^2 + 1,9763x + 78,485$
9	$y = -0,023x + 83,325$	$y = -0,0115x^2 + 0,4678x + 80,54$	$y = -0,0026x^3 + 0,141x^2 - 1,4796x + 83,056$

Transformátor	$U_p(\Sigma C_x H_y)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,005x + 81,659$	$y = -4 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0455x + 77,936$	$y = 1 \cdot 10^{-7}x^3 - 0,0002x^2 + 0,0993x + 76,524$
2	$y = -0,0146x + 81,919$	$y = -0,0015x^2 + 0,0599x + 81,12$	$y = -0,0015x^3 + 0,073x^2 - 0,8879x + 83,069$
3	$y = 0,0121x + 77,692$	$y = 0,0067x^2 - 0,5264x + 79,848$	$y = 0,0001x^3 - 0,0131x^2 + 0,0742x + 78,934$
5	$y = -0,1597x + 78,738$	$y = 0,0209x^2 - 1,8009x + 105,97$	$y = 0,0364x^3 - 3,8786x^2 + 125,96x - 1195,3$
8	$y = 0,1139x + 80,352$	$y = -0,0002x^2 + 0,1302x + 80,21$	$y = 0,0004x^3 - 0,0466x^2 + 1,1702x + 75,021$
9	$y = 0,0091x + 82,723$	$y = 0,0213x^2 - 0,9749x + 91,961$	$y = 0,0053x^3 - 0,3356x^2 + 6,3888x + 47,16$
Transformátor	$U_p(H_2)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0333x + 81,077$	$y = 0,0054x^2 - 0,3283x + 81,529$	$y = -4 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0084x^2 - 0,3589x + 81,55$
2	$y = 0,1616x + 80,65$	$y = -0,0624x^2 + 1,1046x + 80,19$	$y = 8 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0643x^2 + 1,1154x + 80,19$
3	$y = 0,0603x + 73,079$	$y = 0,0003x^2 - 0,0563x + 78,374$	$y = -3 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0117x^2 - 0,7303x + 83,455$
5	$y = -0,1493x + 76,942$	$y = -0,0079x^2 + 0,1478x + 77,24$	$y = -0,0002x^3 + 0,0039x^2 - 0,022x + 77,252$
8	$y = 0,1781x + 78,966$	$y = -0,0051x^2 + 0,5885x + 74,09$	$y = 0,1449x^3 - 13,739x^2 + 306,32x - 1911,1$
9	$y = 0,0157x + 82,437$	$y = -0,0108x^2 + 0,9216x + 67,53$	$y = -0,0005x^3 + 0,0452x^2 - 1,006x + 86,372$
Transformátor	$U_p(O_2)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0007x + 73,35$	$y = 1 \cdot 10^{-8}x^2 + 0,0004x + 74,647$	$y = -6 \cdot 10^{-12}x^3 + 3 \cdot 10^{-7}x^2 - 0,0022x + 79,419$
2	$y = 0,0005x + 72,457$	$y = 5 \cdot 10^{-8}x^2 - 0,001x + 81,752$	$y = 3 \cdot 10^{-12}x^3 - 6 \cdot 10^{-8}x^2 - 2 \cdot 10^{-5}x + 81,652$
3	$y = -0,0003x + 80,941$	$y = 2 \cdot 10^{-8}x^2 - 0,0006x + 79,78$	$y = -3 \cdot 10^{-11}x^3 + 8 \cdot 10^{-7}x^2 - 0,006x + 87,594$
5	$y = 0,0001x + 67,894$	$y = 8 \cdot 10^{-9}x^2 - 0,001x + 85,611$	$y = -2 \cdot 10^{-12}x^3 + 3 \cdot 10^{-7}x^2 - 0,0092x + 134,95$
8	$y = 2 \cdot 10^{-5}x + 81,17$	$y = -1 \cdot 10^{-9}x^2 + 0,0003x + 78,582$	$y = -3 \cdot 10^{-14}x^3 + 1 \cdot 10^{-8}x^2 - 0,0016x + 95,295$
9	$y = -0,0003x + 86,652$	$y = 6 \cdot 10^{-9}x^2 - 0,0005x + 87,317$	$y = -7 \cdot 10^{-11}x^3 + 3 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0281x + 170,73$
Transformátor	$U_p(N_2)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0001x + 75,493$	$y = 5 \cdot 10^{-9}x^2 - 0,0002x + 77,421$	$y = -2 \cdot 10^{-13}x^3 + 2 \cdot 10^{-8}x^2 - 0,0008x + 79,119$
2	$y = 7 \cdot 10^{-5}x + 76,852$	$y = -4 \cdot 10^{-9}x^2 + 0,0003x + 74,888$	$y = -2 \cdot 10^{-12}x^3 + 4 \cdot 10^{-7}x^2 - 0,0178x + 349,27$
3	$y = -1 \cdot 10^{-7}x + 78,157$	$y = -6 \cdot 10^{-10}x^2 + 3 \cdot 10^{-5}x + 78,19$	$y = 1 \cdot 10^{-12}x^3 - 1 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0038x + 54,938$
5	$y = -0,0001x + 80,452$	$y = 6 \cdot 10^{-9}x^2 - 0,0007x + 93,132$	$y = -4 \cdot 10^{-11}x^3 + 5 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,1975x + 2695,2$
8	$y = 8 \cdot 10^{-6}x + 80,856$	$y = 1 \cdot 10^{-10}x^2 - 0,0001x + 83,093$	$y = 3 \cdot 10^{-16}x^3 - 3 \cdot 10^{-10}x^2 + 6 \cdot 10^{-5}x + 80,147$
9	$y = -2 \cdot 10^{-6}x + 83,024$	$y = -1 \cdot 10^{-8}x^2 + 0,0009x + 71,872$	$y = -7 \cdot 10^{-13}x^3 + 4 \cdot 10^{-8}x^2 - 0,0004x + 79,892$

Transformátor	$U_p(\text{CO})$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,007x + 80,319$	$y = -7 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0393x + 78,066$	$y = -9 \cdot 10^{-7}x^3 + 0,0005x^2 - 0,051x + 79,115$
2	$y = 0,0098x + 79,056$	$y = 9 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0331x + 83,965$	
3	$y = -0,0237x + 83,16$	$y = -9 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0373x + 78,719$	$y = 3 \cdot 10^{-7}x^3 - 0,0004x^2 + 0,1083x + 78,087$
5	$y = -0,0016x + 73,008$	$y = 0,0003x^2 - 0,215x + 95,867$	$y = 5 \cdot 10^{-7}x^3 - 0,0004x^2 + 0,034x + 77,463$
8	$y = 0,1547x + 77,094$	$y = 0,0051x^2 - 0,3193x + 85,434$	$y = -0,0001x^3 + 0,0249x^2 - 1,0899x + 93,72$
9	$y = -0,013x + 84,063$	$y = -0,0007x^2 + 0,2025x + 75,85$	$y = 3 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,012x^2 + 1,0703x + 58,48$
Transformátor	$U_p(\text{Q}_p)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 1,2522x + 74,209$	$y = 0,3847x^2 - 2,2548x + 78,141$	$y = -0,1359x^3 + 2,5007x^2 - 10,88x + 82,951$
2	$y = 0,2682x + 79,424$	$y = 0,4556x^2 - 4,5477x + 89,183$	$y = -0,0685x^3 + 1,592x^2 - 9,9462x + 95,118$
3	$y = -2,1419x + 89,174$	$y = -1,069x^2 + 8,1178x + 70,583$	$y = -0,2281x^3 + 2,286x^2 - 5,7286x + 83,037$
5	$y = -1,4069x + 83,215$	$y = -0,5833x^2 + 6,0059x + 62,65$	$y = -4,758x^3 + 92,035x^2 - 567,06x + 1177,6$
8	$y = -1,6372x + 87,542$	$y = -5,1927x^2 + 21,96x + 63,649$	$y = 26,601x^3 - 189,33x^2 + 424,51x - 208,85$
9	$y = -0,3137x + 84,258$	$y = -0,5615x^2 + 5,0229x + 73,70$	$y = 0,315x^3 - 4,7483x^2 + 20,913x + 56,902$

Tab. 2.7 Rovnice proložení grafů závislostí průrazného napětí na plynech pro upravené soubory

Transformátor	$U_p(\text{CH}_4)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,0706x + 80,822$	$y = -0,0226x^2 + 0,287x + 80,857$	$y = -0,0108x^3 + 0,2237x^2 - 0,7376x + 81,14$
2	$y = 1,0649x + 79,064$	$y = -0,5066x^2 + 2,556x + 79,395$	$y = -0,823x^3 + 4,29x^2 - 3,7001x + 80,034$
3	$y = -0,8533x + 81,846$	$y = 0,3152x^2 - 3,1136x + 81,426$	$y = -0,2834x^3 + 3,7696x^2 - 12,63x + 85,424$
5	$y = 1,2593x + 70,644$	$y = 1,2279x^2 - 16,697x + 119,04$	$y = -0,7793x^3 + 15,314x^2 - 86,335x + 222,3$
8	$y = -22x + 116,33$	$y = -13,105x^2 + 20,64x + 81,743$	$y = 210,92x^3 - 752,42x^2 + 763,76x - 80,355$
9	$y = 0,2203x + 81,52$	$y = 0,5219x^2 - 5,893x + 95,826$	$y = 0,2468x^3 - 3,981x^2 + 18,857x + 57,545$
Transformátor	$U_p(\text{C}_2\text{H}_6)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,2046x + 79,489$	$y = 0,0384x^2 - 1,3611x + 82,098$	$y = -0,0065x^3 + 0,342x^2 - 3,1457x + 83,259$
2	$y = -5,6177x + 81,972$	$y = 6,1046x^2 - 13,496x + 82,511$	$y = 28,246x^3 - 48,988x^2 + 9,2768x + 81,97$
3	$y = 0,4484x + 79,37$	$y = 0,682x^2 - 4,1388x + 79,323$	$y = 0,1592x^3 - 0,9945x^2 - 0,4563x + 79,211$
5	$y = 1,2473x + 72,423$	$y = 0,6389x^2 - 5,4086x + 84,235$	$y = 0,461x^3 - 5,1835x^2 + 11,732x + 73,999$
8	$y = 1,7222x + 79,139$	$y = 13,236x^2 - 34,915x + 103,61$	$y = -55,625x^3 + 194,73x^2 - 215,88x + 156,9$
9	$y = -1,318x + 87,843$	$y = -1,3719x^2 + 8,2983x + 73,33$	$y = 0,5647x^3 - 7,4757x^2 + 28,529x + 53,529$

Transformátor	$U_p(C_2H_4)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,1211x + 77,369$	$y = -0,0008x^2 + 0,1083x + 79,32$	$y = -0,001x^3 + 0,1008x^2 - 2,1608x + 91,167$
2	$y = -0,1682x + 82,165$	$y = 0,0235x^2 - 0,6552x + 83,427$	$y = 0,0083x^3 - 0,236x^2 + 1,2637x + 81,672$
3	$y = -0,1577x + 82,928$	$y = -0,0093x^2 + 0,2656x + 78,93$	$y = -0,0113x^3 + 0,4443x^2 - 3,4469x + 79,23$
5	$y = 0,2705x + 72,603$	$y = 0,0287x^2 - 0,8724x + 80,963$	$y = 0,0044x^3 - 0,199x^2 + 1,9419x + 78,326$
8	$y = 2,5x + 72,55$	$y = 2,5629x^2 - 16,259x + 106,43$	$y = -1,767x^3 + 17,694x^2 - 55,564x + 134,95$
9	$y = 0,0625x + 82,084$	$y = 0,092x^2 - 2,28x + 93,998$	$y = 0,0154x^3 - 0,5036x^2 + 4,709x + 70,235$
Transformátor	$U_p(C_2H_2)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,811x + 86,515$	$y = 0,1092x^2 - 2,3397x + 90,337$	$y = -0,0237x^3 + 0,6067x^2 - 5,2297x + 94,32$
2	$y = -45,625x + 81,763$		
3	$y = -3,0795x + 85,516$	$y = -1,0237x^2 + 2,223x + 79,829$	$y = -2,6604x^3 + 17,205x^2 - 28,837x + 80,02$
5	$y = -0,0667x + 77,433$	$y = -5,1632x^2 + 12,916x + 79,82$	
8	$y = 5,2085x + 77,338$	$y = 15,112x^2 - 31,381x + 95,301$	$y = 11,859x^3 - 29,135x^2 + 19,08x + 78,277$
9	$y = -0,3481x + 83,779$	$y = -2,7678x^2 + 12,635x + 71,33$	$y = 4,7036x^3 - 36,778x^2 + 87,97x + 21,928$
Transformátor	$U_p(C_3H_8)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0379x + 79,375$	$y = -0,0008x^2 + 0,1976x + 78,72$	$y = 6 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0191x^2 + 1,4168x + 73,679$
2	$y = -4,5581x + 94,563$	$y = -22,39x^2 + 124,28x - 84,385$	
3	$y = -2,4371x + 90,33$	$y = -1,33x^2 + 6,8746x + 76,665$	$y = 13,623x^3 - 143,4x^2 + 397,7x - 57,808$
5	$y = -0,5039x + 82,376$	$y = -0,2361x^2 + 3,481x + 72,406$	$y = -0,0046x^3 - 0,118x^2 + 2,6219x + 73,988$
8	$y = 3,6x + 67,87$	$y = 3,8069x^2 - 26,853x + 127,96$	$y = -0,8626x^3 + 12,378x^2 - 53,775x + 154,1$
9	$y = -0,1575x + 85,066$	$y = -0,0204x^2 + 0,4721x + 81,4$	$y = 0,0005x^3 - 0,0416x^2 + 0,7239x + 80,65$
Transformátor	$U_p(C_4H_{10})$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1			
2			
3			
5			
8	$y = 0,2289x + 80,839$	$y = 0,0378x^2 - 0,8144x + 83,611$	$y = 0,0055x^3 - 0,2049x^2 + 1,976x + 78,485$
9	$y = -0,023x + 83,325$	$y = -0,0115x^2 + 0,4678x + 80,54$	$y = -0,0026x^3 + 0,141x^2 - 1,4796x + 83,056$

Transformátor	$U_p(\Sigma C_x H_y)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0188x + 81,324$	$y = -0,0059x^2 + 1,3638x + 73,76$	$y = 0,0008x^3 - 0,2009x^2 + 4,294x + 65,327$
2	$y = -0,0804x + 82,31$	$y = -0,0003x^2 - 0,0416x + 81,54$	$y = -0,0006x^3 + 0,03x^2 - 0,4195x + 82,297$
3	$y = 0,0989x + 77,777$	$y = 0,0046x^2 - 0,2894x + 79,325$	$y = -1 \cdot 10^{-4}x^3 + 0,0167x^2 - 0,6048x + 79,76$
5	$y = 0,2727x + 68,548$	$y = 0,0391x^2 - 2,8518x + 122,57$	$y = -0,0077x^3 + 0,8641x^2 - 29,88x + 397,74$
8	$y = 0,449x + 77,931$	$y = 0,4515x^2 - 6,3521x + 103,43$	$y = -8,4913x^3 + 150,7x^2 - 855,14x + 1597,6$
9	$y = 0,0091x + 82,723$	$y = 0,0213x^2 - 0,9749x + 91,961$	$y = 0,0053x^3 - 0,3356x^2 + 6,3888x + 47,16$
Transformátor	$U_p(H_2)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0173x + 80,726$	$y = -0,0022x^2 + 0,2553x + 77,88$	$y = -8 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,0101x^2 - 0,1489x + 78,99$
2	$y = 0,106x + 80,353$	$y = -0,0318x^2 + 0,5918x + 80,27$	$y = 0,008x^3 - 0,2299x^2 + 1,6566x + 80,195$
3	$y = 0,2204x + 70,306$	$y = 0,007x^2 - 0,4612x + 82,349$	$y = 7 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0003x^2 - 0,2691x + 81,304$
5	$y = 0,1329x + 74,213$	$y = 0,0159x^2 - 0,6245x + 80,161$	$y = 0,0022x^3 - 0,1184x^2 + 1,2757x + 80,07$
8	$y = 0,4068x + 75,652$	$y = -2,718x^2 + 75,038x - 432,77$	$y = 1,1905x^3 - 54,405x^2 + 822,4x - 4031,8$
9	$y = 0,0157x + 82,437$	$y = -0,0108x^2 + 0,9216x + 67,53$	$y = -0,0005x^3 + 0,0452x^2 - 1,0061x + 86,37$
Transformátor	$U_p(O_2)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0007x + 73,35$	$y = -7 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0393x + 78,066$	$y = -9 \cdot 10^{-7}x^3 + 0,0005x^2 - 0,051x + 79,115$
2	$y = 0,0005x + 73,24$	$y = 5 \cdot 10^{-8}x^2 - 0,0009x + 81,736$	$y = 3 \cdot 10^{-12}x^3 - 5 \cdot 10^{-8}x^2 - 1 \cdot 10^{-4}x + 81,651$
3	$y = -0,0002x + 82,538$	$y = -1 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0023x + 74,914$	$y = -4 \cdot 10^{-11}x^3 + 9 \cdot 10^{-7}x^2 - 0,0055x + 86,019$
5	$y = -0,0002x + 77,485$	$y = 1 \cdot 10^{-7}x^2 - 0,004x + 107,53$	
8	$y = -0,0013x + 93,869$	$y = 2 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0367x + 268,47$	
9	$y = -0,0003x + 86,652$	$y = 6 \cdot 10^{-9}x^2 - 0,0005x + 87,317$	$y = -7 \cdot 10^{-11}x^3 + 3 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,028x + 170,73$
Transformátor	$U_p(N_2)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0007x + 73,35$	$y = 1 \cdot 10^{-8}x^2 + 0,0004x + 74,647$	$y = -6 \cdot 10^{-12}x^3 + 3 \cdot 10^{-7}x^2 - 0,0022x + 79,419$
2	$y = 3 \cdot 10^{-5}x + 78,546$	$y = -3 \cdot 10^{-9}x^2 + 0,0003x + 76,249$	$y = -2 \cdot 10^{-12}x^3 + 3 \cdot 10^{-7}x^2 - 0,0158x + 320,26$
3	$y = 0,0001x + 74,533$	$y = 3 \cdot 10^{-9}x^2 - 0,0001x + 79,073$	$y = 5 \cdot 10^{-13}x^3 - 5 \cdot 10^{-8}x^2 + 0,0016x + 68,303$
5	$y = 0,0001x + 70,486$	$y = 3 \cdot 10^{-8}x^2 - 0,003x + 139,56$	$y = -2 \cdot 10^{-11}x^3 + 3 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,108x + 1521,1$
8	$y = 4 \cdot 10^{-5}x + 80,32$	$y = -4 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0155x - 56,615$	
9	$y = 0,0004x + 75,602$	$y = -2 \cdot 10^{-9}x^2 + 0,0004x + 75,74$	$y = -2 \cdot 10^{-11}x^3 + 2 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0275x + 222,24$

Transformátor	$U_p(\text{CO}_2)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,0046x + 76,283$	$y = 2 \cdot 10^{-6}x^2 - 1 \cdot 10^{-5}x + 77,522$	$y = -8 \cdot 10^{-10}x^3 + 5 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0037x + 78,006$
2	$y = 0,0024x + 77,536$	$y = 6 \cdot 10^{-6}x^2 - 0,0161x + 89,423$	$y = 3 \cdot 10^{-9}x^3 - 7 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,0016x + 83,118$
3	$y = -0,0039x + 85,399$	$y = -2 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,0063x + 77,936$	$y = -7 \cdot 10^{-9}x^3 + 4 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,038x + 83,835$
5	$y = -0,0025x + 79,083$	$y = -1 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,0031x + 75,864$	$y = -7 \cdot 10^{-9}x^3 + 4 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0722x + 103,76$
8	$y = 0,0296x + 74,786$	$y = 0,0061x^2 - 0,4714x + 90,699$	$y = 3 \cdot 10^{-7}x^3 + 0,0001x^2 - 0,1181x + 97,45$
9	$y = -0,0118x + 88,988$	$y = 6 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0743x + 104,54$	$y = -2 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,0026x^2 - 1,3719x + 318,5$
Transformátor	$U_p(\text{CO})$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 0,007x + 80,319$	$y = -7 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0393x + 78,066$	$y = -9 \cdot 10^{-7}x^3 + 0,0005x^2 - 0,051x + 79,115$
2	$y = 0,0098x + 79,056$	$y = 9 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0331x + 83,965$	
3	$y = -0,0237x + 83,16$	$y = -9 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0373x + 78,719$	$y = 3 \cdot 10^{-7}x^3 - 0,0004x^2 + 0,1083x + 78,087$
5	$y = -0,0016x + 73,008$	$y = 0,0003x^2 - 0,215x + 95,867$	$y = 5 \cdot 10^{-7}x^3 - 0,0004x^2 + 0,034x + 77,463$
8	$y = 0,1547x + 77,094$	$y = 0,0051x^2 - 0,3193x + 85,434$	$y = -0,0001x^3 + 0,0249x^2 - 1,0899x + 93,72$
9	$y = -0,013x + 84,063$	$y = -0,0007x^2 + 0,2025x + 75,85$	$y = 3 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,012x^2 + 1,0703x + 58,48$
Transformátor	$U_p(Q_p)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = 1,2522x + 74,209$	$y = 0,3847x^2 - 2,2548x + 78,141$	$y = -0,1359x^3 + 2,5007x^2 - 10,88x + 82,951$
2	$y = 0,2682x + 79,424$	$y = 0,4556x^2 - 4,5477x + 89,183$	$y = -0,0685x^3 + 1,592x^2 - 9,9462x + 95,118$
3	$y = -2,1419x + 89,174$	$y = -1,069x^2 + 8,1178x + 70,583$	$y = -0,2281x^3 + 2,286x^2 - 5,7286x + 83,037$
5	$y = -1,4069x + 83,215$	$y = -0,5833x^2 + 6,0059x + 62,65$	$y = -4,758x^3 + 92,035x^2 - 567,06x + 1177,6$
8	$y = -1,6372x + 87,542$	$y = -5,1927x^2 + 21,96x + 63,649$	$y = 26,601x^3 - 189,33x^2 + 424,51x - 208,85$
9	$y = -0,3137x + 84,258$	$y = -0,5615x^2 + 5,0229x + 73,70$	$y = 0,315x^3 - 4,7483x^2 + 20,913x + 56,902$

Tab. 2.7 Rovnice proložení grafů závislosti průrazného napětí na obsahu vody rozpuštěného oleji

Transformátor	$U_p(Q_v)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,4901x + 88,484$	$y = -0,068x^2 + 1,5249x + 75,438$	$y = 0,0122x^3 - 0,5915x^2 + 8,1924x + 51,326$
2	$y = -0,0351x + 81,931$	$y = -0,0264x^2 + 1,0322x + 73,63$	$y = -0,0009x^3 + 0,0257x^2 + 0,2256x + 77,07$
3	$y = -0,0543x + 78,451$	$y = 0,0206x^2 - 0,9397x + 85,837$	$y = 0,0011x^3 - 0,0467x^2 + 0,1623x + 81,53$
4	$y = -1,2953x + 98,12$	$y = -0,1129x^2 + 4,115x + 45,805$	$y = 0,0005x^3 - 0,1471x^2 + 4,8262x + 41,722$
5	$y = -0,2544x + 77,975$	$y = 0,05x^2 - 1,7024x + 85,099$	$y = -0,003x^3 + 0,1866x^2 - 3,4703x + 90,96$
6	$y = -2,0635x + 92,601$	$y = -0,2367x^2 + 2,16x + 79,265$	
7	$y = -0,0517x + 78,185$	$y = -0,0912x^2 + 1,732x + 71,074$	$y = 0,1397x^3 - 3,7551x^2 + 29,69x + 7,0264$
8	$y = 0,0939x + 82,854$	$y = 0,7193x^2 - 10,8x + 115,99$	$y = -5,6967x^3 + 112,96x^2 - 663,3x + 1294,4$
9	$y = 0,1621x + 82,28$	$y = -0,0173x^2 + 0,3568x + 81,77$	$y = 0,7312x^3 - 12,002x^2 + 61,829x - 16,59$

Tab. 2.8 Rovnice proložení grafů závislosti průrazného napětí na obsahu vody rozpuštěného oleji pro upravené soubory

Transformátor	$U_p(Q_v)$		
	Rovnice proložení grafu		
	lineární	polynomem	
		2. stupně	3. stupně
1	$y = -0,4901x + 88,484$	$y = -0,068x^2 + 1,5249x + 75,438$	$y = 0,0122x^3 - 0,5915x^2 + 8,1924x + 51,326$
2	$y = 0,4074x + 76,912$	$y = -0,0076x^2 + 0,593x + 75,894$	$y = -0,0022x^3 + 0,072x^2 - 0,2542x + 78,482$
3	$y = -0,3056x + 82,665$	$y = 0,0003x^2 - 0,313x + 82,705$	$y = 0,0026x^3 - 0,104x^2 + 0,85x + 79,629$
4	$y = -1,2953x + 98,12$	$y = -0,1129x^2 + 4,115x + 45,805$	$y = 0,0005x^3 - 0,1471x^2 + 4,8262x + 41,722$
5	$y = -0,1252x + 80,207$	$y = 0,002x^2 - 0,1836x + 80,49$	$y = -0,0075x^3 + 0,3425x^2 - 4,495x + 94,314$
6	$y = -2,0635x + 92,601$	$y = -0,2367x^2 + 2,16x + 79,265$	
7	$y = -0,0517x + 78,185$	$y = -0,0912x^2 + 1,732x + 71,074$	$y = 0,1397x^3 - 3,7551x^2 + 29,69x + 7,0264$
8	$y = 0,0939x + 82,854$	$y = 0,7193x^2 - 10,8x + 115,99$	$y = -5,6967x^3 + 112,96x^2 - 663,3x + 1294,4$
9	$y = 0,1621x + 82,28$	$y = -0,0173x^2 + 0,3568x + 81,77$	$y = 0,7312x^3 - 12,002x^2 + 61,829x - 16,59$

Tab. 2.9 Přehled analýzy čísla kyselosti pomocí krabicových grafů

Transformátor	ČK					odlehle hodnoty
	Q1	median	Q3	IQR	N	
1	0,0245	0,0320	0,0575	0,0330	13	
2	0,0228	0,0300	0,0463	0,0235	14	
3	0,0380	0,0440	0,0460	0,0080	7	
4	0,0200	0,0440	0,0715	0,0515	5	
5	0,0308	0,0458	0,0681	0,0373	8	
6	0,0050	0,0070	0,0090	0,0040	3	
7	0,0030	0,0050	0,0063	0,0033	5	
8	0,0030	0,0040	0,0155	0,0125	4	
9	0,0450	0,0060	0,0105	0,0060	5	

Tab. 2.10 Přehled analýzy obsahu vody rozpuštěného v oleji pomocí krabicových grafů

Transformátor	Qv					odlehle hodnoty
	Q1	median	Q3	IQR	N	
1	11,5000	14,0000	18,5000	7,0000	13	
2	9,0000	12,0000	16,0000	7,0000	15	36
3	11,5000	18,0000	21,5000	10,0000	17	38; 39
4	12,7500	23,0000	30,0000	17,2500	10	
5	5,7500	7,9000	19,2500	13,5000	14	
6	3,2500	5,5000	12,5500	9,3000	4	
7	4,9000	6,5000	9,4750	4,5750	6	
8	3,9500	4,3000	7,9000	3,9500	5	
9	4,0750	5,0500	6,5000	2,4250	6	

Tab. 2.11 Přehled analýzy ostatních veličin pomocí krabicových grafů

Veličiny	Transformátor 1						Transformátor 2					
	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty
tg20	0,0003	0,0007	0,0250	0,0247	13	0,14	0,0001	0,0004	0,0058	0,0057	14	0,02; 0,15; 0,8
tg70	0,0033	0,0096	0,4450	0,4417	13	1,7; 1,8	0,0024	0,0043	0,9450	0,9426	14	70
tg90	0,0106	0,0198	1,0700	1,0595	13	4,22; 4,23	0,0053	0,0199	2,3300	2,3247	14	90
er20	2,2905	2,2500	2,2620	0,0215	13	2,184	2,2370	2,2497	2,2493	0,0123	14	2,271
er70	2,1820	2,1890	2,1980	0,0160	13	2,135	2,1775	2,1870	2,1895	0,0120	14	70
er90	2,1580	2,1660	2,1760	0,0180	13	2,115	2,1560	2,1620	2,1673	0,0113	14	90
ro20	29,8000	49,0000	110,0000	80,2000	11	250; 450	26,6500	50,0000	122,0000	95,3500	12	
ro70	2,9000	3,9000	22,0000	19,1000	11		2,1250	7,9500	14,2500	12,1250	12	35; 70
ro90	1,2000	1,8000	9,6000	8,4000	11		0,9775	2,4500	5,2000	4,2225	12	17; 90
rov	0,8800	0,8830	0,8858	0,0058	12	0,864	0,8798	0,8810	0,8828	0,0030	14	0,889
sigma	0,0390	0,0460	0,0475	0,0085	13	0,39; 0,434	0,0408	0,0440	0,0463	0,0055	14	
Veličiny	Transformátor 3						Transformátor 4					
	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty
tg20	0,0006	0,0010	0,0045	0,0039	18	0,032; 0,075	0,0013	0,0030	0,0067	0,0054	8	
tg70	0,0066	0,0129	0,0279	0,0213	18	0,073; 0,556	0,0188	0,0214	0,0876	0,0688	8	
tg90	0,0154	0,0354	0,0528	0,0374	18	0,1674; 1,351	0,0438	0,0486	0,1742	0,1304	8	
er20	2,2185	2,2225	2,2845	0,0660	18		2,2875	2,2941	2,3030	0,0155	8	2,179
er70	2,1490	2,1695	2,2153	0,0663	18		2,2253	2,2292	2,2380	0,0128	8	2,157
er90	2,1318	2,1515	2,1943	0,0625	18		2,1993	2,2030	2,2135	0,0143	8	2,134
ro20	9,7625	45,8000	61,3250	51,5625	16	972,1	3,0000	9,5000	17,8000	14,8000	7	
ro70	1,1000	3,5500	5,1250	4,0250	16	14; 74,8	0,2200	1,0000	1,1000	0,8800	7	
ro90	0,4925	1,1550	2,1750	1,6825	16	6,7; 26,1	0,2100	0,4300	0,6000	0,3900	7	
rov	0,8735	0,8760	0,8845	0,0110	17		0,8860	0,8860	0,8910	0,0050	7	0,877
sigma	0,0360	0,3800	0,0400	0,0040	19	0,053	0,0350	0,0390	0,0400	0,0050	7	

Veličiny	Transformátor 5						Transformátor 6					
	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty
tg20	0,0004	0,0007	0,0032	0,0028	15	0,012; 0,013; 0,12	0,0001	0,0003	0,0323	0,0322	4	
tg70	0,0029	0,0091	0,0405	0,0379	15	0,175; 0,189; 1,4	0,0011	0,0042	0,1517	0,1505	4	
tg90	0,0074	0,0217	0,0942	0,0868	15	0,425; 0,431; 2,82	0,0026	0,0093	0,3306	0,3280	4	
er20	2,2210	2,2270	2,2690	0,0480	15		2,1810	2,1910	2,2010	0,0200	4	
er70	2,1670	2,1730	2,2060	0,0390	15		2,1225	2,1350	2,1400	0,0175	4	
er90	2,1460	2,1550	2,1810	0,0350	15		2,1025	2,1150	2,1200	0,0175	4	
ro20	29,9500	112,1000	178,8000	151,8500	14	2300,2; 2797,8	169,3000	349,0500	967,2500	797,9500	4	
ro70	2,3000	16,2500	35,7750	33,4750	14	157,7; 198,7	10,1500	117,1000	309,7000	299,5500	4	
ro90	1,0075	7,1500	13,9750	12,9675	14	92; 117,8	5,1000	13,1500	73,2500	68,1500	4	
rov	0,8788	0,8805	0,8823	0,0035	14	0,87; 0,888	0,8705	0,8725	0,8745	0,0040	4	
sigma	0,0390	0,0420	0,0460	0,0070	15		0,0430	0,0435	0,0463	0,0033	4	
	Transformátor 7						Transformátor 8					
	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty
tg20	0,0012	0,0015	0,0960	0,0948	6		0,0001	0,0091	0,0270	0,0270	4	
tg70	0,0119	0,0162	1,1078	1,0959	6		0,0063	0,0425	0,1255	0,1192	4	
tg90	0,0262	0,0368	2,0845	2,0584	6		0,0125	0,0734	0,2433	0,2308	4	
er20	2,2335	2,2570	2,2603	0,0268	6		2,1903	2,1950	2,2125	0,0213	4	
er70	2,1655	2,1945	2,2015	0,0360	6		2,1222	2,1440	2,1563	0,0343	4	
er90	2,1365	2,1705	2,1783	0,0418	6		2,0975	2,1250	2,1368	0,0393	4	
ro20	25,1000	30,4000	399,4500	374,3500	6		109,6250	442,7500	2633,7800	2524,1500	4	
ro70	4,5000	12,2500	84,5750	80,0750	6		27,1250	54,1000	67,7250	40,6000	4	
ro90	2,2900	8,5500	51,4750	49,1850	6		21,6000	30,5000	53,8750	32,2750	4	
rov	0,8778	0,8865	0,8893	0,0115	6		0,8688	0,8710	0,8755	0,0068	4	
sigma	0,0438	0,0485	0,0535	0,0098	6		0,0523	0,0530	0,0553	0,0030	4	

Veličiny	Transformátor 9					
	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty
tg20	0,0001	0,0020	0,0120	0,0120	5	
tg70	0,0013	0,0043	0,0550	0,0538	5	
tg90	0,0020	0,0073	0,1400	0,1381	5	
er20	2,2005	2,2020	2,2115	0,0110	5	
er70	2,1270	2,1380	2,1535	0,0265	5	
er90	2,1105	2,1160	2,1325	0,0220	5	
ro20	285,2000	858,0000	7062,0000	6776,8000	5	
ro70	49,9000	98,9000	765,3000	715,4000	5	
ro90	29,9000	41,5000	321,8000	291,9000	5	
rov	0,8715	0,8730	0,8730	0,0015	5	
sigma	0,0530	0,0530	0,5400	0,0010	5	

Tab. 2.12 Přehled analýzy průrazného napětí pomocí krabicových grafů

Transformátor	U _p					
	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty
1	76,250	80,40	88,00	11,75	12	63,8 54,9; 49
2	76,325	81,20	85,75	9,43	14	
3	75,225	78,25	81,53	6,30	18	
4	74,850	78,40	83,65	8,80	9	
5	72,500	77,30	83,80	11,30	15	
6	66,350	82,70	84,80	18,45	4	
7	76,000	77,30	79,70	3,70	6	
8	79,600	82,80	87,45	7,85	5	
9	79,600	82,10	85,70	6,10	6	

Příloha 3: Posouzení výsledků elektrických veličin

Tab. 3.1 Přehled analýzy elektrických veličin pomocí krabicových grafů

Elektrické veličiny	Transformátor 1						Transformátor 2					
	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty
V:N τ												
V:N+k τ												
V:k τ												
V:N R_{15}												
V:N+k R_{15}												
V:k R_{15}												
V:N R_{60}												
V:N+k R_{60}												
V:k R_{60}												
V:N P_i												
V:N+k P_i												
V:N C_x	2301,50	2311,50	2326	24,50	8		2260	2267	2278,25	18,25	10	
V:N+k C_x												
V:k C_x	2678,50	2686	2698,00	19,50	9	4878,5	2593	2597	2600	7	11	4742,4
V:N tg	0,35	0,44	0,61	0,26	8		0,30	0,32	0,35	0,05	10	
V:N+k tg												
V:k tg	0,62	0,80	1,42	0,80	9		0,35	0,42	0,49	0,14	11	
N:V τ												
N:V+k τ												
N:V R_{15}												
N:V+k R_{15}												
N:V R_{60}												
N:V+k R_{60}												
N:k R_{60}												
N:V P_i												
N:V+k P_i												
N:k P_i												
N:V C_x												
N:V+k C_x												
N:k C_x	4514,25	4529	5155,05	640,80	10	6814,2; 6909,1	4407,25	4415	4623,75	216,50	12	6531,2; 6720,9
N:V tg												
N:V+k tg												
N:k tg	0,44	0,67	0,80	0,36	10		0,41	0,53	0,66	0,24	12	1,75

Elektrické veličiny	Transformátor 3						Transformátor 4					
	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty
V:N τ	6,58	9,95	26,10	19,52	13		5,57	10,75	33,45	27,88	6	
V:N+k τ	7,20	18,85	29,53	22,32	16		6,19	10,90	41,40	35,21	7	
V:k τ												
V:N R ₁₅	329	675	1110	781	14		300	440	1050	750	6	
V:N+k R ₁₅	275	580	1150	875	17		260	360	1500	1240	7	
V:k R ₁₅												
V:N R ₆₀	622	1125	1763	1141	14		613	800	2350	1738	6	
V:N+k R ₆₀	520	875	1775	1255	17		400	650	2600	2200	7	
V:k R ₆₀												
V:N P _i	1,495	1,746	1,950	0,455	13		1,83	2,00	2,37	0,54	6	
V:N+k P _i	1,493	1,680	1,990	0,050	16		1,60	1,80	2,10	0,50	7	
V:k P _i												
V:N C _x	14289	14341	14640	351	17	6210; 7482; 15230; 15630	8597,75	14617,50	14866,30	6269	8	
V:N+k C _x	16195	16481	17003	809	17	8467; 12995; 14149,2	14214,30	16402,50	17076,30	2862	8	368
V:k C _x	1884,28	1906	2046,25	161,98	16	360; 1219; 2588; 2828,5; 6790	462,90	1807,50	1921,50	1488,60	8	
V:N tg	0,26	0,29	0,81	0,54	17	1,96	0,23	0,40	0,65	0,42	8	3,04
V:N+k tg	0,36	0,43	0,79	0,43	16	1,6; 2,09	0,30	0,58	1,90	1,60	8	
V:k tg	1,04	1,25	1,70	0,66	16	0,01727; 2,71	0,92	1,37	2,26	1,34	8	
N:V τ	8,20	16,51	27,05	18,85	12		5,30	8,36	22,43	17,12	4	
N:V+k τ	6,00	20,00	25,40	19,40	15	65,4	4,15	7,40	23,00	18,85	7	
N:k τ												
N:V R ₁₅	325	925	1170	846	12		41	250	800	758,6	4	
N:V+k R ₁₅	205	450	650	445	17		100	290	470	370	7	
N:k R ₁₅	245	280	800	555	3						7	
N:V R ₆₀	586	1425	1888	1301	12		450	800	1600	1150	4	
N:V+k R ₆₀	316	785,0	932,5	617,0	16	2000; 2500	150	450	900	750	7	
N:k R ₆₀												
N:V P _i	1,493	1,673	1,883	0,389	12		1,75	2,22	14,83	13,09	4	
N:V+k P _i	1,397	1,439	1,698	0,300	16	3,1	1,50	1,60	1,62	0,12	7	1,9
N:k P _i												
N:V C _x	14286,3	14335	14634,8	349	16	6078; 7466; 15230	3758	14613	14869	11111	8	
N:V+k C _x	24491	25739	36548	2057	17	486; 10925; 16670	6692	25950	26947	20255	8	
N:k C _x	11365,80	11424	11685	319,25	16	216; 4850; 8767; 12369	2934	11358	11818	8884	8	
N:V tg	0,27	0,30	0,75	0,48	17	1,98	0,23	0,49	2,11	1,88	8	
N:V+k tg	0,38	0,45	0,91	0,53	16	2,88	0,27	0,55	2	2,20	8	
N:k tg	0,52	0,70	1,10	0,58	16	3,38	0,3730	0,6375	2,6134	2,2404	8	

Elektrické veličiny	Transformátor 5						Transformátor 6					
	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty
V:N τ	24,52	37,29	41,60	17,08	7		129,61	233,89	440,69	311,08	4	
V:N+k τ	27,46	38,45	45,96	18,50	10		117,80	183,80	272,86	155,06	7	736
V:k τ												
V:N R ₁₅	790	1375	2075	1285	6		16150	32300	83250	67100	4	
V:N+k R ₁₅	952,50	1535	1837,50	885,00	10		11000	18000	26400	15400	7	50000
V:k R ₁₅												
V:N R ₆₀	1710	2600	3300	1590	7	13000	25700	46400	87500	61800	4	
V:N+k R ₆₀	1980	2380	2800	820	11	430	15500	24400	37000	21500	7	100000
V:k R ₆₀												
V:N P _i	1,39	1,47	1,66	0,27	6		1,09	1,43	1,74	0,65	4	
V:N+k P _i	1,43	1,51	1,64	0,21	10		1,22	1,51	1,91	0,69	8	81,0722
V:k P _i												
V:N C _x	14348,30	14487	14702	353,75	12	15636	5039,83	5045,60	5148,50	108,68	8	
V:N+k C _x	16136	16163	16520	384	11	17210	7371,33	7390,35	7580,50	209,18	8	
V:k C _x	1789	1798,80	1838,00	49	11	1980; 1986	2324	2352,20	2453	129	7	
V:N tg	0,1963	0,2100	0,3250	0,13	12	0,73	0,28	0,29	0,31	0,03	8	0,029
V:N+k tg	0,25	0,26	0,29	0,04	11	0,473; 0,81	0,54	0,61	0,75	0,21	8	
V:k tg	0,61	0,68	0,98	0,37	11		1,08	1,33	1,72	0,64	8	
N:V τ	20,79	33,00	43,05	22,26	6		129,61	233,88	440,69	311,08	4	
N:V+k τ	16,49	30,20	38	21,51	11		67,93	150,30	268,78	200,85	8	
N:k τ												
N:V R ₁₅	660	1800	2150	1490	5		16150	32300	83250	67100	4	
N:V+k R ₁₅	462,50	821	1025	562,50	10		5286,11	9005	14200	8913,89	8	
N:k R ₁₅												
N:V R ₆₀	1445	2300	3000	1550	6		25700	46400	87500	61800	4	
N:V+k R ₆₀	650	1190	1500	850	11		7700,72	11915,00	21800	14099,30	8	
N:k R ₆₀												
N:V P _i	1,42	1,50	1,73	0,31	5		1,09	1,43	1,74	0,65	4	
N:V+k P _i	1,36	1,44	1,51	0,15	10		1,21	1,44	1,73	0,52	8	
N:k P _i												
N:V C _x	14349	14485	14687,50	338,50	12	15220; 15627	5039,78	5045,60	5148,50	108,73	8	
N:V+k C _x	25356	25380	25960	604	11	26900	12320	12334	12597,50	277,50	8	
N:k C _x							7281,53	7290,40	7456,75	175,23	8	2322,3
N:V tg	0,20	0,21	0,33	0,13	12	0,73	0,29	0,30	0,32	0,03	8	
N:V+k tg	0,23	0,24	0,26	0,04	11	0,405; 0,72	0,31	0,35	0,51	0,20	8	
N:k tg	0,26	0,28	0,35	0,09	10	0,7	0,32	0,38	0,65	0,32	8	

Elektrické veličiny	Transformátor 7						Transformátor 8					
	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty
V:N τ	15,28	20,99	25,22	9,94	4		111,85	148,53	292,82	180,97	8	
V:N+k τ	19,60	21,70	26,77	7,17	9		1348,11	1824,15	8529,44	7181,33	8	
V:k τ												
V:N R ₁₅	1100	1600	1800	700	4		6500	8000	13975	7475	8	
V:N+k R ₁₅	850,50	1300	1650	799,50	9		2775	10500	20900	18125	12	
V:k R ₁₅												
V:N R ₆₀	2325	3200	3850	1525	4		13125	18900	37250	24125	8	
V:N+k R ₆₀	2190	2410	2985	795	9		12500	46300	80875	68375	12	
V:k R ₆₀												
V:N P _i	1,94	2,10	2,19	0,25	4		1,66	2,10	3,33	1,67	8	
V:N+k P _i	1,72	1,84	2,48	0,76	9							
V:k P _i												
V:N C _x	6550,60	6558,40	6642	91,40	9		7853,68	7859,65	7874,18	20,50	12	8018; 8022
V:N+k C _x	8920,55	8971,70	9022	101,45	9		22840	174600	174674	151834	9	
V:k C _x	2366,75	2377	2389	22,25	9		18508	166750	166820	148312	9	
V:N tg	0,38	0,39	0,41	0,03	9		0,19	0,20	0,22	0,02	12	0,29
V:N+k tg	0,49	0,51	0,58	0,10	9	1,053	0,04	0,05	0,06	0,02	12	0,3
V:k tg	0,80	0,85	1,10	0,30	9	2,86	0,04	0,04	0,06	0,02	11	0,35
N:V τ	15,28	20,99	25,22	9,94	4		111,88	148,52	292,83	180,96	8	
N:V+k τ	22,20	25,50	28,53	6,33	9	10,7	446,00	836,61	1016,40	570,40	11	488908
N:k τ												
N:V R ₁₅	1100	1600	1800	700	4		6500	8000	13975	7475	8	
N:V+k R ₁₅	541	700	950	409	9		6375	15950	20150	13775	12	
N:k R ₁₅												
N:V R ₆₀	2325	3200	3850	1525	4		14250	18900	37250	23000	8	
N:V+k R ₆₀	1560	1770	2000	440	9	750	1600	30000	53375	37375	12	28000000
N:k R ₆₀												
N:V P _i	1,94	2,10	2,19	0,25	4		1,70	2,80	4,11	2,41	8	1727273
N:V+k P _i	2,15	2,22	2,78	0,63	9		1,63	2,05	2,65	1,02	12	101,449
N:k P _i												
N:V C _x	6550,60	6558,20	6642	91,40	9		7853,20	7861,40	7873,75	20,55	12	8018; 8022
N:V+k C _x	14174,50	14201	14360	185,50	9	1421	27895,80	27945,20	28929	1033,25	12	174610
N:k C _x	7633,40	7652	7720,50	87,10	9		20057,30	20094	21512,80	1455,50	12	166750
N:V tg	0,37	0,38	0,41	0,04	9		0,18	0,19	0,21	0,03	12	0,26
N:V+k tg	0,38	0,40	0,42	0,04	9	0,572	0,27	0,30	0,32	0,05	12	0,04
N:k tg	0,38	0,40	0,44	0,06	9	0,674	0,30	0,34	0,37	0,07	12	0,04

Elektrické veličiny	Transformátor 9					
	Q1	median	Q3	IQR	N	odlehle hodnoty
V:N τ	159,13	215,41	253,38	94,25	8	
V:N+k τ	3766,70	6145,00	19566,10	15799,40	9	895021
V:k τ						
V:N R ₁₅	8375	11000	14925	6550	8	
V:N+k R ₁₅	2175	10250	25000	22825	12	
V:k R ₁₅						
V:N R ₆₀	19750	26800	31500	11750	8	50000
V:N+k R ₆₀	35000	72750	103750	68750	12	4360000
V:k R ₆₀						
V:N P _i	1,82	2,30	3,15	1,33	8	
V:N+k P _i	4,86	9,26	28,75	23,89	12	161,482
V:k P _i						
V:N C _x	8044,63	8050,25	8056,00	11,38	12	8025,5; 8208; 8213
V:N+k C _x	158848	205285	205539	46691,30	10	20525; 20900
V:k C _x	108625	197250	197550	88925	9	
V:N tg	0,20	0,21	0,23	0,03	12	
V:N+k tg	0,04	0,05	0,06	0,02	12	
V:k tg	0,04	0,05	0,06	0,02	11	0,53
N:V τ	159,12	215,79	253,30	94,18	8	402,7
N:V+k τ	205,19	361,20	1137,34	932,15	10	
N:k τ						
N:V R ₁₅	8375	11000	14925	6550	8	
N:V+k R ₁₅	4150	7400	13875	9725	10	
N:k R ₁₅						
N:V R ₆₀	19750	26800	31500	11750	8	50000
N:V+k R ₆₀	7187,50	13250	40100	32912,50	10	90500
N:k R ₆₀						
N:V P _i	1,82	2,30	3,15	1,33	8	
N:V+k P _i	1,60	2,05	3,54	1,94	10	6,7037
N:k P _i						
N:V C _x	8046,75	8052,45	8157,93	111,18	12	
N:V+k C _x	27194,30	27219,50	27573	378,75	12	2880; 28405
N:k C _x	19154	19170	19510	356	12	20352; 20680
N:V tg	0,19	0,20	0,22	0,03	12	0,068; 0,27
N:V+k tg	0,32	0,35	0,38	0,06	12	0,22
N:k tg	0,36	0,41	0,45	0,09	12	0,2