

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTROTECHNOLOGY**

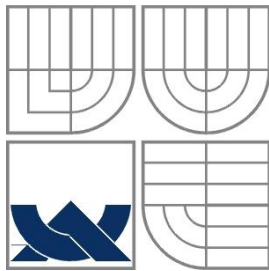
EXPOZICE EPOXIDOVÝCH PRYSKYŘIC VE ZTÍŽENÝCH KLIMATICKÝCH PODMÍNKÁCH

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. RADIM HANAČÍK

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

Faculty of Electrical Engineering and Communication

Department of Electrotechnology

EXPOZICE EPOXIDOVÝCH PRYSKYŘIC VE ZTÍŽENÝCH KLIMATICKÝCH PODMÍNKÁCH

EPOXY RESINS EXPOSURE UNDER SEVERE CLIMATIC
CONDITIONS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

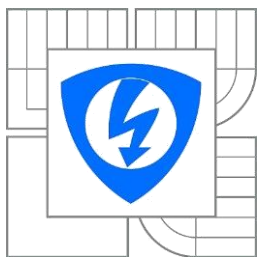
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. RADIM HANAČÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Martin Frk. PhD

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektrotechnická výroba a management

Student: Bc. Radim Hanačík
Ročník: 2

ID: 116854
Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Expozice epoxidových pryskyřic ve ztížených klimatických podmínkách

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Zpracujte aktuální přehled používaných elektroizolačních zalévacích hmot, včetně popisu jejich typických vlastností. Proveďte rešerši popisující degradační mechanismy elektroizolačních zalévacích hmot na bázi epoxidových pryskyřic používaných v elektrotechnickém průmyslu. Soustřeďte se zejména na působení klimatických činitelů. Prostudujte podstatu diagnostických metod používaných pro stanovení elektrických vlastností dielektrických materiálů ve stejnosměrném a střídavém elektrickém poli.

Vzorky epoxidových pryskyřic, připravených ve spolupráci s firmou ABB, exponujte v prostředí o různých relativních vlhkostech, teplotách, případně UV záření. V průběhu expozice ve ztížených klimatických podmínkách sledujte elektrické vlastnosti ve střídavém a stejnosměrném elektrickém poli. Na základě dosažených výsledků stanovte dominantní klimatické vlivy na změny vlastností testovaných materiálů. Výsledky graficky zpracujte, matematicky vyhodnoťte a podejte jejich možnou fyzikální interpretaci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 31.7.2014

Vedoucí práce: Ing. Martin Frk, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ANOTACE

Tahle práce se zabývá popisem účinků klimatických činitelů, zejména relativní vlhkosti a teploty na vlastnosti makromolekulárních látek, ale také i ostatních, jako je UV záření, vítr, kyslík a voda. Dále nás seznámí s definicí a rozdělením makromolekulárních látek. V další části popisuje základní vlastnosti dielektrických materiálů. Značná část textu se věnuje popisu, výrobě, vytvrzování, vlastnostem a využití epoxidových pryskyřic. Poslední část pojednává o klimatických činitelích z obecného hlediska.

Klíčová slova: epoxidová pryskyřice, klimatický činitel, polymer

ABSTRACT

This thesis describes the effects of climatic factors, particularly humidity and temperature on the properties of macromolecular substances, but also others, such as UV radiation, wind, water and oxygen. Furthermore, we introduce the definition and distribution of macromolecular substances. The next section describes the basic properties of dielectric materials. Much of the text is devoted to the description, production, curing, properties and utilization of epoxy resins. The last part deals with climate factors in general terms.

Keywords: epoxy resin, climatic factor, polymer

Bibliografická citace práce:

HANAČÍK, R. *Expozice epoxidových pryskyřic ve ztížených klimatických podmínkách*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 66s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Frk, Ph.D..

Prohlašuji, že svoji semestrální práci na téma *Expozice epoxidových pryskyřic ve ztížených klimatických podmínkách* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené semestrální práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

.....

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ A PŘÍLOH.....	6
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	7
ÚVOD	8
1 DIELEKTRIKA A IZOLANTY	9
1.1 VLASTNOSTI DIELEKTRIK	9
2 MAKROMOLEKULÁRNÍ LÁTKY	11
2.1 PŘÍRODNÍ POLYMERY	11
2.2 SYNTETICKÉ POLYMERY	12
2.3 FAKTORY, KTERÉ ZPŮSOBUJÍ DEGRADACI A KOROZI POLYMERŮ.....	20
2.4 DEGRADACE POLYMERŮ	20
3 ELEKTROIZOLAČNÍ ZALÉVACÍ HMOTY	23
3.1 EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE	23
3.1.1 HISTORIE EPOXIDOVÝCH PRYSKYŘIC	23
3.1.2 CHARAKTERISTIKA EPOXIDOVÝCH PRYSKYŘIC.....	23
3.1.3 VÝROBA EPOXIDOVÝCH PRYSKYŘIC	23
3.1.4 VYTVRZOVÁNÍ EPOXIDOVÝCH PRYSKYŘIC	24
3.1.5 VLASTNOSTI EPOXIDOVÝCH PRYSKYŘIC	25
4 KLIMATIČTÍ ČINITELÉ	26
4.1 TEPLOTA.....	26
4.2 TLAK	26
4.3 VÍTR	27
4.4 SRÁŽKY	27
4.5 NADMOŘSKÁ VÝŠKA	29
4.6 VLHKOST VZDUCHU	29
4.7 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ	30
5 PRAKTICKÁ ČÁST	32
5.1 LABORATORNÍ PRACOVNÍŠTĚ A PŘÍSTROJE	32
5.2 MĚŘENÉ VZORKY A VÝPOČTY.....	33
ZÁVĚR.....	36
6 POUŽITÁ LITERATURA	37
7 PŘÍLOHY	38

SEZNAM OBRÁZKŮ A PŘÍLOH

Obrázek 2-1vzorek PVC	13
Obrázek 2-2 vzorek PE a PP	14
Obrázek 2-3 vzorek PTFE	15
Obrázek 2-4vzorek ABS	15
Obrázek 2-5vzorek PMMA.....	16
Obrázek 2-6vzorek PESL	17
Obrázek 2-7vzorek PA	18
Obrázek 2-8 vzorek PF.....	18
Obrázek 2-9 vzorek UF	18
Obrázek 2-10 vzorek EP.....	19
Obrázek 4-1Závislost vodní páry na teplotě	28
Obrázek 4-2Měření nadmořské výšky	29
Obrázek 5-1Zařízení Agilent 4339B.....	32
Obrázek 5-2Elektrodový systém16008B	32
Obrázek 5-3Klimatická komora od BMT	33
Obrázek 5-4Příklad výpočtů	34
Obrázek 7-1Tabulka naměřených hodnot pro hmotu synpo při 23°C a 50% relativní vlhkosti a standartní hmoty při 23°C a 40% relativní vlhkosti.....	38
Obrázek 7-2Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 23°C hmoty Standart	40
Obrázek 7-3Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 23°C hmoty Standart	41
Obrázek 7-4Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 23°C hmoty Synpo	41
Obrázek 7-5Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 23°C hmoty Synpo.....	42
Obrázek 7-6Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 23°C hmoty Synpo.....	42
Obrázek 7-7Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 23°C hmoty Synpo	43
Obrázek 7-8Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 23°C hmoty Standart	43
Obrázek 7-9Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 23°C hmoty Standart.....	44
Obrázek 7-10Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 23°C hmoty Synpo.....	44
Obrázek 7-11Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 23°C hmoty Synpo	45
Obrázek 7-12Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 23°C hmoty Standart.....	45
Obrázek 7-13Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 23°C hmoty Standart.....	46
Obrázek 7-14Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 23°C hmoty Synpo.....	46
Obrázek 7-15Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 23°C hmoty Synpo	47
Obrázek 7-16Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 23°C hmoty Standart.....	47
Obrázek 7-17Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 23°C hmoty Standart.....	48
Obrázek 7-18Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 40°C hmoty Synpo	48
Obrázek 7-19Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 40°C hmoty Synpo.....	49
Obrázek 7-20Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 40°C hmoty Standart.....	49
Obrázek 7-21Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 40°C hmoty Standart.....	50
Obrázek 7-22Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 40°C hmoty Synpo	50
Obrázek 7-23Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 40°C hmoty Synpo.....	51
Obrázek 7-24Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 40°C hmoty Standart.....	51
Obrázek 7-25Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 40°C hmoty Standart.....	52
Obrázek 7-26Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 40°C hmoty Synpo	52
Obrázek 7-27Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 40°C hmoty Synpo.....	53
Obrázek 7-28Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 40°C hmoty Standart.....	53
Obrázek 7-29Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 40°C hmoty Standart.....	54
Obrázek 7-30Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 40°C hmoty Synpo	54
Obrázek 7-31Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 40°C hmoty Synpo.....	55
Obrázek 7-32Pororovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 40°C hmoty Standart.....	55
Obrázek 7-33Porovnaní Inab, lvyb při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 40°C hmoty Standart.....	56

Obrázek 7-34 Porovnání Inab, Iyvb při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 60°C hmoty Synpo	56
Obrázek 7-35 Porovnání pv při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 60°C hmoty Synpo	57
Obrázek 7-36 Porovnání pv při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 60°C hmoty Standart	57
Obrázek 7-37 Porovnání Inab, Iyvb při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 60°C hmoty Standart	58
Obrázek 7-38 Porovnání Inab, Iyvb při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 60°C hmoty Synpo	58
Obrázek 7-39 Porovnání pv při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 60°C hmoty Synpo	59
Obrázek 7-40 Porovnání pv při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 60°C hmoty Standart	59
Obrázek 7-41 Porovnání Inab, Iyvb při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 60°C hmoty Standart	60
Obrázek 7-42 Porovnání Inab, Iyvb při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 60°C hmoty Synpo	60
Obrázek 7-43 Porovnání pv při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 60°C hmoty Synpo	61
Obrázek 7-44 Porovnání pv při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 60°C hmoty Standart	61
Obrázek 7-45 Porovnání Inab, Iyvb při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 60°C hmoty Standart	62
Obrázek 7-46 Porovnání Inab, Iyvb při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 60°C hmoty Synpo	62
Obrázek 7-47 Porovnání pv při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 60°C hmoty Synpo	63
Obrázek 7-48 Porovnání pv při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 60°C hmoty Standart	63
Obrázek 7-49 Porovnání Inab, Iyvb při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 60°C hmoty Standart	64
Obrázek 7-50 Tabulka vypočítaných hodnot pro Standartní hmotu při 23°C a 50% relativní vlhkosti	64
Obrázek 7-51 Tabulka vypočítaných hodnot pro Synpo hmotu při 23°C a 50% relativní vlhkosti	64
Obrázek 7-52 Vypočítané koeficienty mocninné funkce proudu při 23°C a 50%RH	65

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

d [m]	Tloušťka vzorku
R_v [Ω]	Vnitřní odpor
R_p [Ω]	Povrchový odpor
ρ_v [Ω m]	Vnitřní rezistivita
σ_p [Ω]	Povrchová rezistivita
ε' [-]	Relativní permitivita
ε'' [-]	Ztrátové číslo
$tg\delta$ [-]	Ztrátový úhel
t [°C]	Teplota
h [m]	Tloušťka vzorku
d_1 [m]	Průměr měřicí elektrody
g [m]	Vzdálenost měřicí a ochranné elektrody
C_0 [F]	Geometrická kapacita
C_x [F]	Kapacita Kondenzátoru
A [A.s-1]	Materiálová konstanta
n [-]	Součinitel mocninné funkce

ÚVOD

Polymery jsou přírodní nebo syntetické látky, v jejichž makromolekule se jako články v řetězci mnohonásobně opakuje základní monomerní jednotka. Představují tedy chemickou stavebnici, která umožňuje neobyčejnou proměnlivost struktur i vlastností výsledných látek. Syntetické polymery vyvinuté v první polovině 20. století umožnily rozvoj plastikářského průmyslu, gumárenství, výroby syntetických vláken, průmyslu folií a obalů, průmyslu nátěrových hmot a kompozitních materiálů, které ovlivnily vývoj od letectví až po sportovní výzbroj. Tyto materiály a průmyslové oblasti jsou neodmyslitelně spojeny se světovým hospodářstvím konce 20. století. Kdyby náhle nějakým nařízením nebo kouzlem polymery zmizely ze světa, okamžitě by se zhroutila i současná technická civilizace.

Rozvoj epoxidových pryskyřic začal mohutně rozvíjet přibližně v padesátých letech minulého století. Během několika desítek let našly uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích. Epoxidové pryskyřice zařazujeme v elektrotechnice mezi často používané materiály, a to hlavně pro jejich dobré elektrické, mechanické, chemické a tepelné vlastnosti, odolnost proti povětrnostnímu stárnutí, pro jednoduchost tvarování a zalévání. Mimo to se s nimi také můžeme setkat například v průmyslu nátěrových hmot, při výrobě tmelů, lepidel, aj.. Pro dosažení žádoucích vlastností je potřeba upravit jejich složení různými přísadami.

1 DIELEKTRIKA A IZOLANTY

Dielektrika jsou látky, jejichž hlavní technická vlastnost je schopnost polarizovat se v el. poli. Využívají se k hromadění elektrické energie v kondenzátorech a jako kapacitní prvky v elektronických obvodech. Jejich hlavním parametrem je relativní permitivita.

Izolanty jsou látky, jejichž hlavní vlastnost je schopnost klást velký odpor průchodu el. proudu. Elektrické izolanty jsou látky, které v ideálním případě neobsahují žádné volné nosiče náboje. Jejich účelem je vytvoření potenciálového rozdílu mezi vodiči. Využívají se zejména k izolování vodivých těles s různým potenciálem. Jejich hlavním parametrem je rezistivita.

Základními veličinami charakterizujícími dielektrika jsou:

- vnitřní rezistivita ρ_v
- povrchová rezistivita ρ_p
- relativní permitivita ϵ'
- ztrátový činitel $\text{tg } \delta$
- elektrická pevnost E_p

Dielektrika dělíme podle typu molekul:

Nepolární (neutrální) - vázané elektrické náboje jsou rozloženy souměrně a jejich těžiště splývají. Působením elektrického pole se symetrie poruší. Tím získávají přídavný (indukovaný) dipólový moment.

Polární (dipólové) – vlastní (neindukovaný) elektrický dipól. V přítomnosti elektrického pole se dipólové molekuly stáčí do směru pole. Tím získají přídavný (indukovaný) dipólový moment. Ten se vektorově skládá se stálým dipólovým momentem.

1.1 Vlastnosti dielektrik

Polarizace dielektrika

Polarizace je děj, když vložíme dielektrikum do elektrostatického pole. Elektrické pole přiložené k dielektriku působí silově na kladné i záporné náboje dielektrika. Protože dielektrika jsou nevodivá, nepohybují se náboje volně, nýbrž dochází pouze k jejich malému lokálnímu posuvu. Vzhledem k tomu, že kladné a záporné náboje se posouvají opačným směrem, získá jednotkový objem dielektrika určitý dipólový moment, který je číselně roven vektoru polarizace. Říkáme, že dielektrikum se polarizuje. V makroskopickém měřítku se polarizace projeví vznikem povrchového vázaného náboje, jehož plošná hustota je rovna velikosti normálové složky vektoru polarizace. V oblasti, kde siločáry vstupují do tělesa se objeví záporný vázaný náboj. V oblasti, kde siločáry z tělesa vystupují, se objeví kladný vázaný náboj.

K polarizaci dielektrika dochází vlivem následujících molekulárních mechanismů:

- posuvem elektronů vůči jádru, tzv. elektronovou polarizací: deformace elektronových obalů vlivem vnějšího pole, posunutí těžiště elektronového náboje, vznik indukovaného elektrického dipólového momentu. Vzniká posunutím elektronového obalu vzhledem k jádru atomu, převážně pohybem valenčních elektronů. Doba ustálení je řádově 10-15s, vyskytuje se při všech používaných frekvencích a je nepřímo úměrně závislá na teplotě (vliv tepelné roztažnosti na koncentraci). Vyskytuje se u všech dielektrik a není spojena s dielektrickými ztrátami.
- posuvem iontů vůči sobě, čímž vzniká tzv. iontová polarizace: u molekul složených z iontů se vlivem vnějšího pole zvětší elektrický dipólový moment (vlastní+indukovaný). Je způsobena vychýlením iontů z jejich rovnovážných poloh elektrickým polem. Vyskytuje se u všech látek, jejichž charakter vazby mezi atomy je

alespoň částečně iontový. Vzhledem k hmotnosti iontů je doba jejího ustálení delší než u elektronové a to 10^{-12} - 10^{-13} s. Odpovídající polarizovatelnost je přímo úměrná velikosti náboje iontu a nepřímo jejich hmotnosti. Vyskytuje se v celém rozsahu frekvencí a není spojena se ztrátami.

- posuvem dipólů polárních skupin nebo molekul ve směru elektrického pole, tzv. orientační polarizací (závislost na intenzitě vnějšího pole a teplotě): částice s nenulovým elektrickým dipólovým momentem se vlivem vnějšího pole natáčí do jeho směru (až do maxima polarizace – všechny jsou natočeny), polarizace brzděna neustálým neuspořádaným pohybem částic. Vyskytuje se u polárních látek a vzniká v důsledku natáčení dipólů působením elektrického pole. Tato polarizace je spojena s tepelným pohybem molekul. Je závislá na frekvenci a silně závislá na teplotě. Doba ustanovení je 10^{-8} - 10^{-12} s u látek nízkomolekulárních, ale u makromolekulárních látek je tato doba o mnoho řádů vyšší. Je doprovázená ztrátami energie v dielektriku.

Permitivita dielektrika

Relativní permitivita ϵ_r je makroskopická veličina, charakterizující polarizační schopnosti dielektrik. Definujeme ji jako poměr kapacity kondenzátoru s uvažovaným dielektrikem a s vakuem. Má tedy praktický význam jako veličina popisující schopnost dielektrik polarizovat se v elektrickém poli, přičemž její velkou výhodou je měřitelnost.

Podle vztahu $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ se rozlišuje

absolutní permitivita ϵ ,

permitivita vakua ϵ_0 , ($8,859 \cdot 10^{-12}$ Fm⁻¹),

poměrná permitivita ϵ_r (bezrozměrná veličina)

Její velikost závisí na druhu polarizace, na vnitřní stavbě dielektrika a na polarizovatelnosti atomů a molekul. Může se měnit v závislosti na teplotě a kmitočtu, popř. i na intenzitě elektrického pole. Velkou poměrnou permitivitu (až 10^4) mají feroelektrické látky např. titaničitan barnatý. Permitivita těchto látek závisí na teplotě a na intenzitě elektrického pole. Největší hodnoty poměrné permitivity (10^5 až 10^6) mají polovodivé keramické látky zpracovávané zvláštní technologií.

Dielektrické ztráty

Při pohybu volných i vázaných nábojů, který je vyvolán elektrickým polem, v němž se dielektrika nachází, se část energie změní na teplo následkem srážek nosičů s okolními částicemi. Tento jev nazýváme dielektrickými ztrátami a je v elektroizolačních materiálech nežádoucí. V některých případech ale mohou být dielektrické ztráty i užitečné; lze je využít např. k sušení některých látek dielektrické povahy.

Celkové dielektrické ztráty se skládají z různých druhů ztrát, které se liší svojí fyzikální podstatou, přesto je ale jejich vliv na dielektrikum souhlasný. Podle jejich fyzikálních vlastností je můžeme rozdělit následovně:

Ztráty vodivostní – vyskytují se u všech druhů dielektrik, vyvolává je stejnosměrné i střídavé elektrické pole. Jsou způsobeny srážkami volných nosičů náboje s částicemi tvořícími strukturu látky a projevují se přeměnou elektrické energie na tepelnou.

Polarizační ztráty - mají významný podíl na celkové výši ztrát. Jsou podmíněné polarizačními pochody v dielektriku. Velikost těchto ztrát a jejich teplotní a frekvenční závislosti vycházejí z druhu vyskytujících se polarizací. U pružných polarizací jsou nosiče náboje přemísťovány jen na krátké vzdálenosti, prakticky nedochází k předávání kinetické energie a proto jsou tyto polarizace téměř bezztrátové. U pomalých polarizací dochází naproti tomu k přesouvání nosičů náboje na nepoměrně větší vzdálenosti, na kterých předávají značné množství své energie a proto jsou ztrátové. Ke ztrátám patří ještě tzv. rezonanční ztráty, které se v dielektriku vyskytují až při kmitočtech odpovídajících kmitočtu světelného spektra a jsou charakterizovány silnou selektivitou při určitém kmitočtu.

Ionizační ztráty - vyskytují se u plynů a u kapalných dielektrik, které obsahují plynové vměsky. Podmínkou vzniku ztrát je překročení tzv. prahu ionizace daného plynu.

Elektrická pevnost

Dosáhne-li při zvyšování napětí intenzita pole určité velikosti, dochází u izolantů pevného skupenství k průrazu, u izolantů kapalného nebo plynného skupenství k přeskoku. Napětí, při němž nastává průraz nebo přeskok, se nazývá průrazné napětí. Odpovídající intenzita el. pole se označuje jako elektrická pevnost.

Elektrický průraz vzniká nárazovou ionizací atomů.

Tepelný průraz nastává u pevných izolantů s velkým činitelem ztrát nadměrným zahříváním, kde vzniklé teplo nestačí odvádět svým povrchem do okolí. Na rozdíl od průrazu elektrického probíhá pomalu.

Vnitřní a povrchová rezistivita

Kvalita a stav izolačního materiálu jsou charakterizovány též hodnotou vnitřní ρ_v a povrchové rezistivity ρ_p .

Vnitřní rezistivita materiálu je rovná poměru intenzity elektrického pole a proudové hustoty uvnitř izolantu. Číselně se rovná vnitřnímu odporu krychle ze zkoušeného materiálu o hraně 1 m, měřenému mezi dvěma elektrodami, přiloženými na protilehlých stěnách.

Povrchová rezistivita materiálu se rovná poměru intenzity elektrického pole a proudové hustoty na povrchu izolantu. Číselně se rovná odporu čtverce povrchu zkoušeného materiálu o straně 1 m, měřenému mezi dvěma elektrodami přiloženými na protilehlých stranách.

2 MAKROMOLEKULÁRNÍ LÁTKY

Makromolekulární látky nazýváme též polymery. Makromolekuly jsou molekulové systémy složené z velkého počtu atomů vázaných chemickými vazbami do dlouhých řetězců. Tyto řetězce tvoří pravidelně se opakující části, které nazýváme stavební nebo monomerní jednotky (mery). Počet stavebních jednotek udává polymerační stupeň n ; mívá hodnotu 10 až 10^6 . Sloučeniny s nízkým polymeračním stupněm ($n < 10$) se nazývají oligomery, s vyšším polymeračním stupněm ($n \geq 10$) jsou polymery. Jelikož se tahle práce zabývá zejména epoxidovými pryskyřicemi, budu podrobněji rozebírat vlastnosti související právě s epoxidovými pryskyřicemi. Polymery lze rozdělit podle několika kritérií. Podle původu rozlišujeme polymery přírodní a syntetické.

2.1 Přírodní polymery

Přírodní, nebo modifikované (chemicky upravené), od syntetických se liší stavbou řetězce a složitější strukturou molekul.

- polysacharidy (stavebními jednotkami jsou mono, případně oligosacharidy, škrob, celulóza)
- bílkoviny (stavebními jednotkami jsou aminokyseliny)
- nukleové kyseliny (stavebními jednotkami jsou nukleotidy)
- polyterpeny (stavební jednotkou je isopren, přírodní kaučuk)
-

2.2 Syntetické polymery

Podle vzniku dělíme na:

- polymery připravené polymerací
- polymery připravené polykondenzací
- polymery připravené polyadici

Podle tvaru molekuly:

- lineárními
- rozvětvené
- zesíťované
- prostorově zesíťované

Podle chování při zvýšené teplotě

- termoplasty
- termosety (reaktoplasty)

Obecné vlastnosti

Velikost makromolekul – udává ji polymerační stupeň n , který nemá pro určitý druh syntetického polymeru konstantní, ale jen průměrnou hodnotu. Syntetický polymer je tedy směsí makromolekul s různým polymeračním stupněm. Proto se hodnoty fyzikálních veličin polymerů udávají v určitém rozmezí (např. hustota polytetrafluorethylenu je $2,1 \text{ g/cm}^3$ až $2,21 \text{ g/cm}^3$). Polymery s nižším polymeračním stupněm mají kratší řetězce a menší molekulovou hmotnost. Při běžné teplotě jsou kapalné, lepkavé, rozpustné v organických rozpouštědlech. Čím je řetězec delší, tím je polymer pevnější, odolává rozpouštědlům a má vyšší teplotu měknutí.

Tvar makromolekul – jsou-li lineární řetězce uspořádány těsně s pravidelně vedle sebe, vytvářejí krystalickou strukturu. V amorfních oblastech se řetězce nejrůzněji proplétají a vytvářejí shluky, klubka. Amorfní oblasti jsou méně husté a dodávají polymerům vláčnost a ohebnost, krystalické oblasti zase pevnost.

Energie chemické vazby – má-li být polymer stabilní, musí mít co nejpevnější chemické vazby mezi atomy, které tvoří základní řetězec makromolekuly. Řetězce z atomů uhlíku jsou velmi pevné, ještě pevnější jsou silikony, kde se střídají křemíkové a kyslíkové atomy.

Polární a nepolární vazby – nepolárnost vazeb dodává polymeru dobré elektroizolační vlastnosti, polarita chemických vazeb snižuje elektroizolační vlastnosti, zvyšuje mezimolekulární síly a tím zhoršuje ohebnost řetězce.

Velikost atomů vázaných na základní řetězec – náhrada atomů vodíku za objemnější atomy způsobuje větší vyplnění prostoru kolem atomů uhlíku a tím ztrátu ohebnosti řetězce.

Přitažlivé mezimolekulární síly - Rovnoběžné řetězce se mohou k sobě poutat vodíkovými vazbami. Tím se zvyšuje soudržnost polymeru, pevnost, vláknovitost, teplota tání, odolnost proti rozpouštědlům. Vodíkové vazby mezi řetězci mají například polyamidy.

Polymerace

Polymerizace (též polymerace) je chemická reakce, při které z malých molekul (monomerů) vznikají vysokomolekulární látky (polymery). Dělí se podle mechanismu na polymeraci radikálovou, iontovou, polyinzerce, polykondenzaci a polyadici. Podle způsobu provedení se dělí např. na blokovou, roztokovou, suspenzní, emulzní. Stereospecifickou se nazývá polymerizace, při níž vznikají prostorově pravidelně uspořádané makromolekuly. Radiační polymerizace je iniciována ozářením monomerů.

Polymerizace je základní reakce pro výrobu plastů, syntetických kaučuků a umělých vláken. Uplatňuje se při výrobě a využití laků, polyesterů, laminátů a v lékařství. Polymerizace se vyskytuje též v procesech v živé přírodě, např. při biosyntéze polysacharidů a proteinů. Polymerizace lze dělit i na řetězové a neřetězové podle způsobu narůstání makromolekulárních řetězců během syntézy.

Pokud se při polymerizaci používá pouze jeden monomer, jde o homopolymerizaci, pokud je monomerů více, jedná se o kopolymerizaci.

Polyvinylchlorid – PVC

Charakteristika: amorfní termoplast s vyšší pevností a tuhostí, s nižší tažností a rázovou a vrubovou houževnatostí, hlavně za nízkých teplot. $\rho = \text{ca. } 1300 - 1400 \text{ kg/m}^3$. $T_g = \text{ca. } 80^\circ\text{C}$

Výrobky: neměkčený – trubky pro dopravu kapalin, desky, kelímky, obaly na potraviny, izolační materiál, obložení dveří a stropu automobilů, kryty přístrojů.

Měkčený – odléváním pasty hračky, folie, desky, koženky, podlahová krytina, dopravní pásy.

Vzhled: nažloutlý, tuhý, tvrdý, průsvitný, měkčený – ohebný a tažný.

Vlastnosti: vyšší pevnost a tuhost = 45 – 65MPa, $E = 2900 - 3400 \text{ MPa}$. Malý sklon ke křivu.

$T = 83^\circ\text{C}$. Teplotní odolnost je nízká, 70 – 80°C, trvale 60°C. Hoří obtížně, samozhášivý.

Velmi dobré elektroizolační vlastnosti, horší dielektrické – vlivem polárních atomů chlóru.

Odolnost vůči povětrnosti a korozi za napětí je lepší než u PP, PE. Není navlhavý. Velmi dobrá chemická odolnost vůči kyselinám, zásadám, alkoholům, olejům a tukům, horší vůči rozpouštědlům a uhlovodíkům. Dobře se dá lepit a barvit, hůře zpracovatelný – nízká tekutost a degradace.



Obrázek 2-1vzorek PVC

Polyetylén – PE

Výroba: vysokotlaká polymerace – rozvětvený (LDPE) – měkký

Nízkotlaká polymerace – lineární (HDPE) – tvrdý

Charakteristika: semikrystalický plast s nižší tuhostí a pevností, ale velkou houževnatostí, stupeň krystalinity 60% (LDPE) až 80% (HDPE), spotřebitelský, konstrukční plast, $\rho = 920 - 960 \text{ kg/m}^3$, $T_g = \text{ca. } -80^\circ\text{C}$

Výrobky: misky, lahve, sudy, vaničky, trubky, fólie, desky, palivové nádrže (HDPE).

Vzhled: podobá se parafinu, mléčně zakalený, dá se rýpat nehtem, lehčí než voda.

Vlastnosti: mechanické nižší $\sigma_y = 15$ (LDPE) – 30 (HDPE) MPa. $E = 100 - 800 \text{ MPa}$, značný krip. $T_m = 110 - 135^\circ\text{C}$, teplota použití $80 - 100^\circ\text{C}$. Hořlavý, odkapává. Velmi dobré elektroizolační a dielektrické vlastnosti. Nízká odolnost proti UV záření a vlivům povětrnosti. Nenavlhá, velmi dobrá chemická odolnost proti kyselinám, zásadám a solným roztokům. Odolává alkoholům a rozpouštědlům, neodolává chlorovaným uhlovodíkům a částečně benzínu. Nedá se lepit. Lze jej modifikovat plnidly, omezovači šíření plamenů, kaučukem, činidly pro zesílení struktury a antioxidanty.

Polypropylen – PP

PE + PP se nazývají polyolefiny.

Charakteristika: semikrystalický (stupeň krystalinity ca 50%), středně pevný, tuhý a houževnatý. $\rho = 904 - 910 \text{ kg/m}^3$. $T_g = \text{ca } -15 - -10^\circ\text{C}$. Často se plní vyztužujícím plnivem (hlavně skleněné vlákna), které zlepšují mechanické vlastnosti.

Výrobky: lopatky ventilátoru, komponenty klimatizační jednotky, přístrojové desky, nárazníky, víka zavazadlového prostoru, vrtule, bubny a kryty praček, injekční stříkačky, fólie, vlákna.

Vzhled: mléčně zakalený, lehčí než voda, tužší než PE, nelze rýpat nehtem.

Vlastnosti: středně pevný a tuhý materiál, $\sigma_y = 26 - 38 \text{ MPa}$, $E = 1100 - 1600 \text{ MPa}$ (mechanicky předčí PE). Rázová pevnost dobrá, kolem 0°C prudce klesá, což je T_g . Vykazuje krip, $T_m = 160 - 170^\circ\text{C}$, teplota použití do 130°C . Dá se vyvařovat, hořlavý, odkapává. Horší dielektrické a elektroizolační vlastnosti než PE. Neodolává povětrnosti. Nenavlhá. Dá se dobře barvit. Nedá se lepit. Podléhá oxidaci. V nízkých teplotách křehne. Dělí se na izo/syndio/ataktický.



Obrázek 2-2 vzorek PE a PP

Fluoroplasty – PTFE (známý jako teflon)

Dobře známý a hodně používaný polymer s velmi vysokou odolností proti teplotě (až – 200 °C a + 260 °C), vynikající chemickou odolností, s výbornými dielektrickými vlastnostmi, vysokou odolností proti stárnutí, téměř nulovou nasákavostí vodou, se super nízkým součinitelem třením (za sucha plast/kalená ocel = 0,06) a tudíž dobrými kluznými vlastnostmi s efektem "neulpívání" součásti proti povrchu (bez vibrací při rozběhu mechanismů). Tyto vlastnosti umožňují použití PTFE tam, kde nemůže být použit jiný plast. Již zmíněná chemická odolnost je vskutku příznačná. PTFE odolává kyselinám, zásadám, solím a rozpouštědlům i za zvýšených teplot. Pozor však na plněné třídy PTFE, kde jeho chemická odolnost je ovlivněna typem použitého plniva. PTFE má nejvyšší měrnou hmotnost ze všech polymerů.

Vlastnosti: chemická odolnost, kluznost povrchu, nízká odolnost proti otěru, téměř nulová nasákavost, perfektní těsnící vlastnosti, výborná dielektrická odolnost.

Použití: kluzné lišty, pouzdra, těsnění, kroužky, nejrůznější druhy průmyslu.



Obrázek 2-3 vzorek PTFE

Styrénové polymery – PS, SB, ABS, SAN, ASA

Charakteristika: amorfní plasty, tuhé, pevné, bez přísad křehké, čiré.

Vzhled: tuhý, tvrdý, lesklý povrch, těžší než voda.

Vlastnosti: mechanické závisí na složení kopolymeru. PS – rázová houževnatost nízká, SB – lepší, ABS – velmi dobrá, SAN – lepší. Nevykazuje křep, použití do 70°C. Hořlavý. Dobře se barví, potiskuje, lepí. Neodolává rozpouštědlům, uhlovodíkům a korozi za napětí.

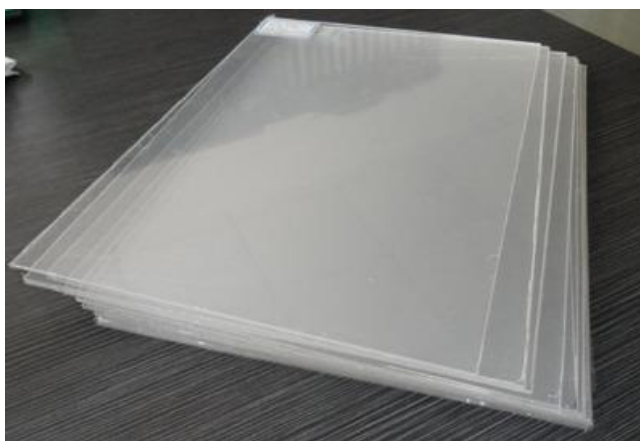


Obrázek 2-4vzorek ABS

Polymetylmetakrylát – PMMA

PMMA je vysoce transparentní termoplastický polymer získávaný polymerací monomeru metylmetakrylátu. Vzhledem k jeho průhlednosti, estetické hodnotě a odolnosti proti poškrábání lze PMMA považovat za lehkou náhradu skla. Materiál běžně známý jako plexisklo nebo akrylátové sklo je průhledný syntetický polymer s vlastnostmi termoplastu. PMMA lze používat jako náhradu polykarbonátu (PC) v aplikacích, které vyžadují vyšší průhlednost, odolnost proti UV záření a/nebo odolnost proti poškrábání a není u nich důležitá odolnost proti nárazům.

Vlastnosti: mimořádné optické, průhlednost, lesklý povrch, odolnost proti poškrábání, UV záření a stárnutí vlivem klimatických činitelů, rozměrová stabilita, tvrdost.



Obrázek 2-5vzorek PMMA

Polyadice

Polyadice je reakce, při které reagují dva různé monomery s různými funkčními skupinami. Jeden monomer musí obsahovat proton (kyselík vodík), který může uvolnit ze své funkční skupiny. Tento uvolněný proton se přesune na druhý monomer a tím dojde ke spojení obou monomerů. Tento děj se neustále opakuje. Pro polyadici je charakteristický přesun protonu v řetězci. Polyadicí se vyrábí látky zvané polyuretany. Vznik polyuretanu. Polyuretany se používají na výrobu molitanu, umělých kůží (např.: barex), ale také jako textilní vlákna.

Polykondenzace

Polykondenzace je reakce při, které reagují dva stejné nebo různé monomery, které obsahují dvě nebo více reakčních funkčních skupin. V průběhu reakce nevzniká jenom polymer, ale i nízkomolekulární produkt (např. voda, methanol, amoniak). Tato reakce byla pro výrobu poprvé použita v roce 1909, kdy byl kondenzací fenolu s formaldehydem vyroben polymer, který dnes známe pod názvem Bakelit.

Významnými produkty polykondenzačních reakcí jsou polyamidy nebo polyestery. Jedním z nejvýznamnějších polyesterů je polyethyltereftalát. Tento polymer vzniká kondenzací dimethyltereftalátu s ethylenglykolem. Nízkomolekulárním produktem této reakce je methanol. U nás je známý pod obchodním názvem tesil nebo terylén.

Polykondenzace je společně s polyadicí jeden z typů stupňovité polymerace – reakce syntetických makromolekulárních látek. Jde o postupnou kondenzaci monomerů a oligomerů. Vznikají při ní polykondenzáty.

Zástupci: polyestery PES (výroba textilních vláken, nátěrových hmot a pryskyřic,.), polyamid PA (vlákna: nylon, silon), fenolformaldehydové pryskyřice (fenoplasty PF nebo bakelity)

(kuchyňské přístroje, telefony, různé ozdobné předměty, bižuterie, kancelářské potřeby a elektroinstalační materiál,), aminoplasty (lepidla, dekorační a nátěrové látky, k výrobě talířů, kelímků...), silikony, epoxidové pryskyřice (budou popsány podrobněji v textu níže).

Polyesterové skelné lamináty – PESL

Polyesterová pryskyřice, rozpuštěna ve vhodném monomeru, katalyzátoru a urychlovači. Plnivo jsou skelná vlákna.

Výrobky: nádrže na dopryvu kapalin, sportovní potřeby, židle, kryty, podstavce, stojany.

Vlastnosti: mechanické v širokém rozmezí dle druhu surovin a plniva (lamináty, premixy). Trvalá teplotní odolnost 110 -130°C. Velmi dobré elektroizolační a dielektrické, hoří pomalu. Odolnost proti UV záření, povětrnostním vlivům, korozi za napětí. Navlhavost nízká až střední. Neodolá zásadám a chlorovaným uhlovodíkům. Malá smrštivost.



Obrázek 2-6vzorek PESL

Polyamid –PA

Obsahují amidovou skupinu -NH-CO- výroba polykondenzací nebo polyadící. Dělí se na základní 3 druhy: PA6, PA66 a PA11.

Charakteristika: semikrystalický, vláknitý, tuhý, pevný, tažný, vysoká rázová houževnatost, odolnost proti nárazu. Konstrukční plast.

Výrobky: ložiska, ozubená kola, lopatky ventilátorů, armatury, fólie, vlákna, spínače startérů, vodící pouzdra zdvihátek ventilů.

Vzhled: nažloutlý až nahnědlý, mléčně zakalený, tuhý.

Vlastnosti: mechanické závisí na obsahu monomeru, vlhkosti a stupni krystalinity, $\sigma_M = 30 - 40$ MPa, $E = 600 - 1400$ MPa, sklon ke křupu. Vysoká odolnost proti otěru, nízký součinitel tření za sucha. $T_m = 200 - 250$ °C. Trvalá teplotní odolnost 80 °C. Obtížně hoří. Neodolává kyselinám, silným zásadám a horké vodě.



Obrázek 2-7 vzorek PA

Fenoplasty – PF

Fenol-formaldehydová pryskyřice s různými plnivými.

Výrobky: modely, bižuterie, galanterie, kování na nábytek.

Vzhled: pryskyřice čirá, žlutohnědé zbarvení, výlisky neprůhledné, tuhé, tvrdé, křehké.

Vlastnosti: mechanické závisí na druhu plniva. Tažnost a vrubová houževnatost nízká. Trvalá odolnost do 100°C. Nízká teplotní roztažnost. Těžko hoří, bez plamene zhasíná. Odolává alkoholům, rozpouštědlům, uhlovodíkům, benzinu a olejům. Neodolá kyselinám, zásadám a horké vodě. Nevhodné pro styk s potravinami.



Obrázek 2-8 vzorek PF

Aminoplasty – UF

Močovinoformaldehydová pryskyřice plněná bavlněnými vlákny či bělenou celulózu.

Výrobky: pohárky, krabice na potraviny, lepidla, kempinkové nádoby

Vzhled: pryskyřice nažloutlá, výlisky neprůhledné, světlá barva, tužší než PF.

Vlastnosti: pryskyřice křehká, snáší nízké teploty, lisovací hmota tvrdá $E = 10000 \text{ MPa}$, zdravotně nezávadná, ostatní jako PF.



Obrázek 2-9 vzorek UF

Epoxidové hmoty – EP

Charakteristika: lisovací hmoty jsou EP s různými plnivem, jinak laky, lepidla, kompozity.

Výrobky: kvalitní lepidla, zalévací hmota v elektrotechnice, lisované hmoty, kompozity v letectví a astronautice.

Vzhled: pryskyřice nažloutlá až nahnědlá.

Vlastnosti: mechanické se mění plnivem, výborné mají kompozity s uhlíkovým vláknem. Lisovací hmoty mají vysokou zabíhavost a malé smrštění. Výlisky rozměrovou stálostí, tepelná odolnost, vysoká pevnost $\rho_M = 50 - 80 \text{ MPa}$, $E = 5000 - 10000 \text{ MPa}$. Vynikající elektroizolační vlastnosti, dobrá chemická odolnost, použití do $100 \text{ }^\circ\text{C}$, modifikovaná lepidla $150 - 170 \text{ }^\circ\text{C}$.



Obrázek 2-10 vzorek EP

Termoplasty

Termoplast je plast, který je od určité vyšší teploty plastický – tvárný – až tekutý a po ochlazení se stane pevným, přičemž tyto teplotou dané změny tvárnosti mohou nastávat opakovaně. Termoplasty jsou polymery složené z lineárních makromolekul s dlouhým řetězcem. Řetězce jsou drženy u sebe pouze mezimolekulárními interakcemi (van der Waalsovými silami, vodíkovými můstky, interakcemi dipól-dipól). Pokud termoplast zahřejeme, tyto interakce slábnou a polymer měkne. Termoplasty jsou v širokém rozsahu teplot viskózní kapaliny. Přesnou teplotu tání nelze určit, protože se polymer skládá z makromolekul různé délky. Teplotní rozsah tání běžných termoplastů se pohybuje mezi $100 \text{ }^\circ\text{C}$ a $130 \text{ }^\circ\text{C}$. Díky tomu patří termoplasty k dobře zpracovatelným materiálům, protože je lze snadno odlévat nebo lisovat. Příklady běžných termoplastů jsou PE, PS, PES, PMMA, PVC, PA. V elektrotechnice se používá na různé tvary koster a cívek, kryty, nosníky, tlačítka. Polystyrenová folie (Styroflex) tvoří dielektrikum kondenzátorů. Používá se též pro obalové účely, ochrana proti otřesům, jako tepelná a zvuková izolace.

Termosety (reaktoplasty)

Reaktoplasty (dříve termosety, duromery, duroplasty) jsou zesíťované polymery, které vytvářejí prostorovou trojrozměrnou síť. Zesíťování nastává až při tváření plastu vlivem tepla a tlaku, někdy působením katalyzátorů. Jakmile je zesíťování dokončeno, není další tváření možné, protože opětovným dodáváním tepelné energie není možno hmotu roztavit. Husté příčné zesíťování se nazývá vytvrzování. Reaktoplast je hmota,

kerou lze teplem, zářením nebo působením katalyzátoru vytvrdit. Vytvrzení znamená vytvoření prostorové sítě v materiálu, díky které se takový plast získává zajímavé vlastnosti, především je netavitelný a nerozpustný. Změny vyvolané teplem, zářením nebo katalyzátorem podnítl vznik kovalentních vazeb mezi molekulami polymeru. Patří sem: fenoplasty, aminoplasty, nenasycené polyestery, 3D polyuretany, vytvrzené epoxidové pryskyřice.

2.3 Faktory, které způsobují degradaci a korozi polymerů

Faktorů existuje celá řada. Teplota, světelné záření, kyslík, voda, chemické látky, mechanické namáhání, biologičtí činitelé, aj.

Polymerní materiály nikdy při svém praktickém použití nejsou vystaveny vlivu izolovaného faktoru, ale jejich kombinaci, podle daných podmínek. Některé z těchto faktorů mohou polymer poškozovat jak chemicky, tak fyzikálně či fyzikálně-chemicky, a to současně. Některé faktory působí na polymer protichůdně a při jejich spojení je výsledné poškození polymeru menší, než když tyto faktory působí odděleně. Většinou se však jejich součinností poškození polymeru zvětšuje.

2.4 Degradace polymerů

Navlhavost

Vlhkost se může shromažďovat na povrchu jakéhokoliv plastu, některé však mají schopnost vodu v podobě páry z ovzduší absorbovat. Důsledky vlhkosti v polymeru:

- zhoršení fyzikálních vlastností
- zvýšení tekutosti taveniny
- zhoršení dielektrických ztrát
- zhoršení tepelných vlastností
- zhoršení pevnosti svaru

Povrchová vlhkost: Voda je vázána přilnavostí k povrchu materiálu - např. při dlouhodobém vystavení plastů atmosférickému vzduchu. Velmi malé množství povrchové vlhkosti však nemusí mít negativní vliv na technologický proces. Jak velké množství vlhkosti bude příčinou vadného dílu, závisí na způsobu zpracování polymeru a vlastních technologických podmínkách (zejména teplotě taveniny). Obecně platí, že čím vyšší je teplota taveniny, tím nižší je přípustný obsah vlhkosti plastu.

Kapilární vlhkost: Voda je vázána kapilárními silami v celém objemu (v mikrokapilárách). V tomto případě je odpařování ztíženo, protože voda v kapilárách je jakoby pod vyšším tlakem a pro sušení se musí použít vyšší teploty, než je bod varu při p_{atm} .

Nejvíce absorbují vodu polární plasty s hydrofilními skupinami v makromolekule podmiňující sorpci vody. Vodní páry ze vzduchu se přenášejí do polymeru, přičemž některé molekuly vody se naváží na řetězec polymeru pomocí mezimolekulárních sil. Některé aditiva zvyšují navlhavost (např. bavlna, dřevěná moučka, kokos). Naopak některé navlhavost snižují (např. mletý křemen, skleněná vlákna). Další možné příčiny, které mohou ovlivnit navlhání polymerů: vlhkost na povrchu nástroje, styk granulátu s vodou při granulaci, netěsnost obalů, nevhodné skladování, aj. Absorpce vlhkosti bude trvat tak dlouho, dokud se vlhkosti nesrovnají (od několika minut až po několik dní). Záleží na druhu polymeru a velikosti

vlhkosti. Absorpce vlhkosti je vratný proces. K udržení nízké vlhkosti polymeru je nutné jej ponechat v suchém prostředí.

Fotooxidace

Současné působení kyslíku a UV záření na polymery působí většinou v atmosféře, ve které je obsažen. Současné působení těchto dvou faktorů výrazně urychlí korozi polymerů oproti působení samotného UV záření nebo samotného kyslíku. Kyslík je polymery absorbován rychleji při působení světelného záření než ve tmě. Světelné záření výrazně urychluje vznik radikálů, které pak podléhají oxidačním reakcím – fotooxidaci. Když při fotooxidaci přestane působit záření, oxidace se nezastaví, ale pokračuje po určitou dobu ve tmě v důsledku nahromadění nestálých produktů. Rychlost této oxidace, je menší než rychlost fotooxidace a závisí na množství kyslíku. Rychlost fotooxidace zůstává konstantní od začátku ozařování, a je závislá na intenzitě záření, které vyvolalo iniciaci. S rostoucí intenzitou záření se rychlost fotooxidace zvyšuje k určitému maximu, po jeho překročení pak již intenzita záření nemá na rychlost fotooxidace vliv.

Fotolýza

UV záření je jednou z hlavních příčin poškození polymerů jak v exteriéru (Slunce), tak i v interiéru (zářivkové zdroje). Řada polymerů, které jsou uloženy v temnu za běžných podmínek své vlastnosti nemění po dlouhou dobu. Pokud jsou však vystaveny účinkům UV záření, dochází k poměrně rychlým změnám jejich vlastností. UV záření totiž iniciuje štěpení chemických vazeb v polymeru, ale i reakce s jinými látkami. Chemické změny v makromolekule způsobuje ta část záření, která je polymerem absorbována. Schopnost absorpce záření polymerem závisí na vlnové délce záření a na chemické struktuře polymeru. Pro každý polymer v závislosti na jeho složení existuje určitá vlnová délka světla, kterou polymer absorbuje. Absorbovala-li makromolekula UV záření – absorbovala energii. Většina absorbované energie se spotřebovává na přechod makromolekuly do nestabilního excitovaného stavu (vyšší energetický stav). Přebytku energie se makromolekula může zbavit několika způsoby:

1. může energii předat jiné molekule při srážce, která se tím excituje,
2. může se postupně vrátit na původní energetickou hladinu reemitací přebytku energie v oblasti delších vlnových délek (viditelné světlo nebo teplo).
3. může dojít k molekulovému přesmyku a zbytek energie se uvolní jako teplo,
4. může vyvolat změny vibračních stavů elektronů, atomů a molekul,
5. může dojít k roztržení vazby, pokud se excitovaná makromolekula nemůže zbavit přebytku energie způsoby uvedenými v bodech 1 až 4.

Absorbovaná energie nemusí vyvolat reakci v místě absorpce, ale může být vedena podél řetězce makromolekuly a způsobit štěpení slabších vazeb.

Termooxidace

Jsou-li polymery vystaveny působení vysokých teplot (nad 100 °C) v atmosféře obsahující kyslík, podléhají termooxidaci. Vysoké teploty působí jako katalyzátor oxidačních reakcí, významně urychlují vznik radikálů, které dále reagují s kyslíkem. Termooxidaci lze popsat podobným schématem jako oxidaci nebo fotooxidaci.

Pyrolýza

Tepelná destrukce označuje rozklad polymeru účinkem vysokých teplot. Chemické reakce, které probíhají v polymeru v důsledku působení vysokých teplot, nelze charakterizovat určitou teplotou nebo určitým intervalem teplot. Tyto reakce totiž probíhají i při nízkých teplotách, ale velmi pomalu. Jejich rychlost se stoupající teplotou roste. Při pokojové teplotě tedy tepelný rozklad polymerů prakticky neprobíhá a nastává při teplotách řádu 100 °C. Vzrůst rychlosti reakce je dán aktivační energií příslušných reakcí. Nelze tedy říci, jakou má polymer chemickou tepelnou odolnost, ale jak dlouho může být nějaké teplotě vystaven, aniž by došlo k měřitelnému poškození, a to s uvedením konkrétní vlastnosti, která se hodnotí (např. pevnost) a podmínek, při nichž byl teplu vystaven (záření, atmosféra, tlak apod.). Nestabilita polymerů vůči vysokým teplotám ovlivňuje především jejich zpracovatelnost.

Hydrolýza

Působením vody je makromolekula rozdělena na dvě části, na jednu se naváže hydroxylový anion a na druhou vodíkový kation, které vznikly rozkladem molekuly vody. Hydrolýze podléhají polymery, které obsahují tzv. hydrolyzovatelné skupiny (esterové, amidové, nitrilové) i polymery, u nichž hydrolyzovatelné skupiny vznikají oxidací. Rychlost hydrolýzy za normální teploty je zpravidla malá. Hydrolýzu urychluje zvýšená teplota (tzv. termická hydrolýza nastává nad teplotou 100 °C), kyselé prostředí (kyselá hydrolýza) nebo zásadité (alkalická hydrolýza) prostředí. Voda může rovněž způsobovat hydrolýzu plniv (např. dřevěné piliny) a přísad, což se také projeví významnou změnou vlastností polymeru. Voda může rovněž způsobovat hydrolýzu plniv (např. dřevěné piliny) a přísad, což se také projeví významnou změnou vlastností polymeru. Fyzikální účinek vody je spojen s botnáním polymeru, se změnou jeho krystalinity a vyluhováním přísad a plniv. Voda může v některých polymerech působit jako změkčovadlo, čímž ovlivňuje jejich mechanické vlastnosti. Pokud dochází ke změnám obsahu vlhkosti polymerů citlivých na vlhkost, dochází ke změně jejich rozměrů, vznikají vnitřní pnutí, které vedou ke vzniku trhlinek, praskání materiálu, růstu pórovitosti, zvýšení nasákavosti. U některých polymerů snížení jejich vlhkosti vede naopak k uzavření jejich pórů a k omezení sorpce vlhkosti do polymeru. Vyluhování přísad polymeru (např. změkčovadel a stabilizátorů vyluhuje) kapalnou vodou negativně ovlivňuje jeho užité vlastnosti a zhoršuje stabilitu polymeru.

Sluneční záření, kyslík, ozon, střídání teplot a vlhkosti, vodní srážky a vítr jsou tzv. povětrnostní faktory, které působí na polymerní materiály v exteriéru, a to jak chemicky, tak fyzikálně: UV záření s kyslíkem v polymeru vyvolává fotooxidaci, vlhkost zvyšuje kvantový výtěžek těchto reakcí. Produkty fotooxidačních reakcí zvyšují absorpci UV záření a tím se celý proces fotooxidace a tedy odbourávání polymeru urychluje. Teploto ovlivňuje rychlost chemických reakcí, včetně oxidace a hydrolýzy, které jsou součástí atmosférické koroze a degradace. V důsledku kolísání teplot vznikají vnitřní pnutí v polymeru v důsledku objemové roztažnosti. Teplota ovlivňuje rychlost difúze plynů do polymerů. Za zvýšené teploty dochází k migraci změkčovadel, stabilizátorů nebo jiných přísad z polymeru, což urychluje poškození polymeru. Voda vymývá všechny ve vodě rozpustné katalyzátory a degradační produkty, které by mohly katalyzovat další degradaci – v tom případě zpomaluje korozní reakce. Voda ale také vymývá antioxidanty a světelné stabilizátory, což naopak urychluje korozi polymeru. Voda, která vnikne do polymeru, působí jako změkčovadlo, může polymer botnat. Dále způsobuje i hydrolýzu polymerů, které obsahují snadno hydrolyzovatelné skupiny (esterové, amidové, nitrilové) – hydrolýza je za běžných teplot usnadněna působením UV záření.

Hydrolyzovatelné skupiny mohou být v polymeru obsaženy nebo v něm vznikly při jeho oxidaci (fotooxidaci). Vítr může unášet pevné částice (prach, písek, led), které způsobují erozi povrchu, což se projeví ztrátou lesku a zdrsňením. Povrch polymeru, který je přístupný korozním procesům se tak zvětšuje.

3 ELEKTROIZOLAČNÍ ZALÉVACÍ HMOTY

K zalévání součástek v elektroprůmyslu se používá celá řada materiálů na bázi polyuretanu nebo epoxidu. Materiály se liší svou tvrdostí (pružností), teplotní odolností, rychlostí vytvrzení, barvou a především svými elektroizolačními vlastnostmi. Epoxidové pryskyřice mají výborné elektroizolační vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou ovlivňovány zejména druhem použitých tvrdidel. Výborné elektroizolační vlastnosti dodávají epoxidovým pryskyřicím tvrdidla s aromatickými jádry. Více o epoxidových pryskyřicích je v následující kapitole a o vlastnostech různých zalévacích hmot v kapitole 2.2.

3.1 Epoxidové pryskyřice

3.1.1 Historie epoxidových pryskyřic

První epoxidové pryskyřice byly syntetizovány v roce 1930, začala je vyrábět švýcarská firma Ciba pod obchodním názvem araldit. Později se objevilo několik druhů této pryskyřice i v USA pod značkou epon a epikote. Komerční výroba byla zahájena koncem 40. let 20. století. U nás se průmyslově vyrábějí již od roku 1953. V současné době je k dispozici přes dvacet pět druhů pryskyřic. Všechny tyto druhy nesou obecný název "epoxidové pryskyřice" a současná mezinárodní produkce překročila sto tisíc tun.

3.1.2 Charakteristika epoxidových pryskyřic

Epoxidové pryskyřice jsou definovány jako molekuly obsahující více než jednu epoxidovou (oxiranovou) skupinu. Tato skupina je velmi reaktivní kvůli energeticky bohatému epoxidovému kruhu, který se ochotně otevírá. Na její reaktivitě s velkým počtem látek, vedoucím k zesíťovaným makromolekulárním produktům, spočívají aplikace těchto pryskyřic jako lepidel, zalévacích a lisovacích hmot, pojiv pro lamináty a lakařských pryskyřic. Při vytvrzování se neodštěpují žádné vedlejší produkty a dochází jen k velmi malému smrštění. Vytvrzené produkty mají výbornou přilnavost na kovy, sklo, keramiku a dřevo. Vykazují velmi dobré vlastnosti v poměrně široké oblasti teplot, mají nejlepší mechanické a především elektrické vlastnosti. Cenná je i jejich značná odolnost vůči vodě, roztokům kyselin a alkálií, některým rozpouštědlům. Epoxidové pryskyřice jsou bezbarvé nebo nažloutlé a za normální teploty téměř neomezeně skladovatelné.

Existují dvě hlavní skupiny epoxidových pryskyřic:

- a) Typy obsahující glycidylové skupiny: připravují se reakcí epichlorhydrinu s vhodnými surovinami.
- b) Typy obsahující epoxidové skupiny: vznikají epoxidací nenasycených sloučenin.

3.1.3 Výroba epoxidových pryskyřic

Výchozími surovinami pro výrobu epoxidových pryskyřic jsou 2,2-bis(4-hydroxyfenyl)propan (dian nebo bisfenol A), dichlorhydrin a epichlorhydrin.

Epoxidové pryskyřice jsou produkty připravené alkalickou kondenzací dianu s hydroxylovou skupinou fenolu s epihalogenhydrinem, zejména s epichlorhydrinem. Nejdříve probíhá adice epoxidové skupiny na hydroxyl fenolu dianu, tato reakce je katalyzovaná přítomností alkálií, vzniká diandichlorhydrinéter. Ve druhé kroku dochází k odštěpení chlorovodíku z diandichlorhydrinéteru a vzniknou oxiranové skupiny.

3.1.4 Vytvrzování epoxidových pryskyřic

Základní epoxidové pryskyřice jsou v nevytvrzeném stavu technicky nepoužitelné. Obsahují větší procento hydroxylových skupin, takže jsou navlhavé, rozpouštějí se v organických rozpouštědlech a nemají dostatečnou mechanickou odolnost. Technicky jich lze použít až po zesílení, tj. po zreagování epoxidových, popř. hydroxylových skupin.

Pojmem vytvrzování epoxidových pryskyřic se rozumí proces, ve kterém se pomocí chemických reakcí převádějí nízkomolekulární, rozpustné a tavitelné epoxidové monomery a oligomery na netavitelné a nerozpustné polymery s převážně trojrozměrnou strukturou.

Vytvrzovací reakce mají iontový charakter, jsou urychlovány přidavkem protondonorových sloučenin (alkoholy). Tyto sloučeniny vytvářejí vodíkové vazby, které usnadňují atak nukleofilu na uhlíkový atom epoxidového kruhu.

Provádí se pomocí tzv. tvrdidel, které reagují s epoxidovými pryskyřicemi různými způsoby:

- a) polyadice probíhající na epoxidových skupinách
- b) polykondenzace probíhající na přítomných hydroxylových skupinách
- c) polymerace epoxidových skupin

Vytvrzování polyaminy

Látky obsahující hydroxylovou skupinu (mohou být donory vodíkového atomu) urychlují vytvrzování epoxidů. Pomáhají rozštěpit epoxidovou skupinu a mohou přednostně reagovat s aminy. Řada látek také síťování zpomaluje, největší retardační efekt mají akceptory vodíkového atomu, například ketony, ethery a estery.

Podmínkou vzniku zesíťovaného produktu je přítomnost minimálně třech aktivních atomů vodíku v molekule použitého polyaminu.

Pro vytvrzování epoxidových pryskyřic se nejčastěji používají diethylentriamin, triethylentetramin, dipropylietriamin a isofofondiamin. Druh použitého tvrdidla určuje rychlost vytvrzování a odolnost vytvrzené pryskyřice.

Diethylentriamin

Diethylentriamin je vhodné tvrdidlo při vytvrzování pryskyřic při nízkých pokojových teplotách. Vytvrzený produkt může být dráždivý – práce s ním je v mnoha zemích omezena. Ovšem i přes tyto nevýhody se tvrdidlo používá v České republice a příležitostně i v jiných zemích, tam ale častěji ve formě modifikovaných, méně těkavých a méně toxických epoxidových aduktů. Diethylentriamin má dva aktivní primární vodíky, které mohou reagovat s atmosférickým oxidem uhličitým za tvorby nežádoucích pevných, bílých solí.

Aromatické polyaminy, jako tvrdidla, poskytují s pryskyřicemi produkty s lepší odolností vůči chemikáliím, vyšší tvarovou stálostí za tepla, lepšími elektroizolačními vlastnostmi. Nejčastěji používanější z těchto tvrdidel je m-fenyldiamin.

Vytvrzování anhydridy polykarboxylových kyselin

Anhydridy karboxylových kyselin patří mezi jedny z nejdůležitějších tvrdidel epoxidových pryskyřic. Jejich reakce s epoxidy lze popsat třemi hlavními kroky:

a) Otevření anhydridového kruhu alkoholickým hydroxylem, který pochází z epoxidové pryskyřice, vzniká monoester.

b) Reakce vzniklého monoesteru s epoxidovou skupinou za vzniku nové hydroxylové skupiny a diesteru. Obě reakce jsou katalyzovány terciárními aminy, alkoholy a fenoly.

c) Kyselá katalyzovaná polymerace epoxidových skupin za vzniku etherových vazeb - reakce je významná, jestliže není přítomen urychlovač.

Tvrdidla se používají tuhé i kapalné. Nejběžnější tuhé anhydridy, jako jsou ftalanhydrid, tetrahydroftalanhydrid a hexahydroftalanhydrid, je třeba předem roztavit nebo rozpustit v zahřáté epoxidové pryskyřici. Kapalné jsou např. tzv. methyl-Nadic anhydrid, anhydrid kyseliny dodecenylijantarové.

3.1.5 Vlastnosti epoxidových pryskyřic

Chemická odolnost

Epoxidové pryskyřice mají všeobecně dobrou chemickou odolnost. Výborně odolávají alkáliím a vedle toho i zředěným anorganickým i organickým kyselinám. Chemická odolnost epoxidových pryskyřic stoupá s délkou řetězce molekuly a se stupněm zesílení a závisí na počtu funkčních skupin ve vytvrzeném produktu.

Odolnost za tepla

Odolnost epoxidových pryskyřic za tepla závisí do značné míry na druhu použitých tvrdidel a na stupni zesílení. Tvrdidla s alifatickými řetězci dodávají epoxidových pryskyřicím menší odolnost za tepla než tvrdidla s aromatickým jádrem.

Značný vliv na odolnost za tepla má i struktura pryskyřice. Třífunkční a čtyřfunkční pryskyřice dodávají o 20 – 40 °C vyšší odolnost než pryskyřice bifunkční. Podobně má značný vliv i funkčnost použitého tvrdidla.

Elektroizolační vlastnosti

Epoxidové pryskyřice mají výborné elektroizolační vlastnosti, které jim dodávají tvrdidla s aromatickými jádry, např. anhydrid kyseliny ftalové nebo anilínová pryskyřice.

Smrštitivost

Malá smrštitivost je dalším kladem epoxidových pryskyřic. Je ovlivněna nejen typem tvrdidla ale i vytvrzovacími podmínkami.

Využití epoxidových pryskyřic

K nejstarším a nejdůležitějším aplikačním odvětvím patří použití epoxidových pryskyřic pro povrchovou ochranu. Jsou zastoupeny v sortimentu nátěrových hmot jako dvousložkové laky a barvy, vypalovací laky, vodné emulze i práškové nátěrové hmoty. Využívají se pro vysoce pevná obložení, spojování stavebních prvků nebo odlévání podlah odolných silnému namáhání. Velmi významné je použití epoxidových pryskyřic jako lepidel nejrůznějších materiálů, zejména kovů, keramiky, skla a plastů. Epoxidové skelné lamináty se používají tam, kde pevnostní a tepelné vlastnosti polyesterových laminátů nepostačují.

Souhrnně lze říct, že epoxidové pryskyřice jsou značným přínosem pro náš průmysl. Pomáhají zvyšovat produktivitu práce a v mnoha případech plně nahrazují dovážené kovy a jiný

deficitní materiál. Jejich zavedením do některých průmyslových odvětví se zjednodušily technologické postupy, zlepšila se jakost výrobků a urychlil se rozvoj některých průmyslových výroby.

4 KLIMATIČTÍ ČINITELE

Mezi klimatické činitele řadíme teplotu, tlak, vlhkost vzduchu, vítr, nadmořskou výšku, srážky, sluneční (respektive k zadání práce ultrafialové (UV)) záření.

4.1 Teplota

Teplota je charakteristika tepelného stavu hmoty. V obecném významu je to vlastnost předmětů a okolí, kterou je člověk schopen vnímat a přiřadit jí pocity studeného, teplého či horkého. V přírodních a technických vědách a jejich aplikacích je to skalární veličina, která je vzhledem ke svému pravděpodobnostnímu charakteru vhodná k popisu stavu ustálených makroskopických systémů. Teplota souvisí s kinetickou energií částic látky. Teplota je základní fyzikální veličinou soustavy SI s jednotkou kelvin (K) a vedlejší jednotkou stupeň Celsia (°C). Nejnižší možnou teplotou je teplota absolutní nuly (0 K; -273,15 °C), ke které se lze libovolně přiblížit, avšak nelze jí dosáhnout. K měření teploty se používají teploměry.

Teplota je ústředním pojmem termiky a klíčovou veličinou pro popis tepelných jevů. Projevuje se i v mnoha dalších fyzikálních jevech a závisí na ní mnohé makroskopické mechanické, elektromagnetické i chemické vlastnosti látek. Její význam zasahuje do širokého spektra oborů lidské činnosti, je důležitým pojmem např. v průmyslových aplikacích, lékařství a ekologii. Zvýšení teploty působí změnu rozměrů, tvaru nebo skupenství předmětů. Vnímáním teplejšího a chladnějšího koresponduje se změnou objemu látek: se zvýšeným pocitem teplého se objem zvyšuje. Absolutní teplota je přímo úměrná objemu ideálního plynu při konstantním tlaku, resp. tlaku ideálního plynu při konstantním objemu. Absolutní teplota je mírou vnitřní energie ideálního plynu. Teplota je pojem statistický, který je vhodný k popisu chování systémů s velkým počtem částic, pro který jsou lokální fluktuace zanedbatelné. Teplota je tedy stavová veličina charakterizující termodynamickou rovnováhu systému. Jinak řečeno, ze znalosti teplot dvou systémů můžeme usoudit, zda při uvedení do tepelného kontaktu budou ve stavu termodynamické rovnováhy, nebo zda a jakým směrem bude probíhat přenos tepla. Teplota v zastíněném prostředí ve výšce 2 m nad zemským povrchem změřená v meteorologické budce. Dále se ještě zjišťuje přízemní minimální teplota vzduchu, která se měří v 5 cm nad zemským povrchem.

4.2 Tlak

Hmotnost vzduchu v atmosféře vytváří atmosférický nebo také barometrický tlak. Tlak vzduchu (atmosférický tlak) je síla, která působí v daném místě atmosféry kolmo na libovolně orientovanou plochu o jednotkové velikosti (1 m²), je vyvolán tíhou vzduchového sloupce sahajícího od hladiny, ve které se tlak zjišťuje, až k horní hranici atmosféry. Tlak vzduchu se měří v pascálech (Pa) nebo jeho násobcích, např. hektopascálech (1 hPa = 100 Pa). Na velikost atmosférického tlaku má vliv teplota vzduchu, obsah vodní páry v atmosféře, nadmořská výška a zeměpisná šířka. Pro vzájemné porovnávání se používá tlak redukováný na hladinu moře. Tento tlak je průměrně 1013,25 hPa (tzv. normální atmosférický tlak, který je definován jako přibližně průměrná hodnota tlaku vzduchu při mořské hladině na 45° s.š. při teplotě 15 °C a tíhovém zrychlení $g_n = 9,80665 \text{ ms}^{-2}$). Tlak se měří manometrem.

4.3 Vítr

Ve snaze vyrovnávat tlaky na různých místech se vzduch neustále v atmosféře pohybuje. Tento jev známe jako vítr. Vzduch se nepohybuje ale jen horizontálně, ale i vertikálně. Při jeho popisu nás zajímá jeho směr, rychlost a ochlazovací účinek. Rychlost a směr větru se měří pomocí anemometru. Rychlost (síla) větru se klasifikuje přesným určením jeho rychlosti. Rychlost větru se v čase výrazně mění, proto se často udává průměrná rychlost větru (za určité období, např. 1 nebo 5 minut) a nárazová rychlost větru (maximální rychlost při jednorázovém nárazu). Na proudění větru závisí i srážky. Pokud prochází teplá vlna, tak se pohybuje ve vyšších vrstvách atmosféry. Studená vlna zase “klouže” po povrchu a podsouvá se pod teplý vzduch. Proudění vzduchu probíhá ve všech výškách. Četnost větrů se zaznamenává do větrných růžic. Výškové větry měříme za pomoci meteorologických balonů.

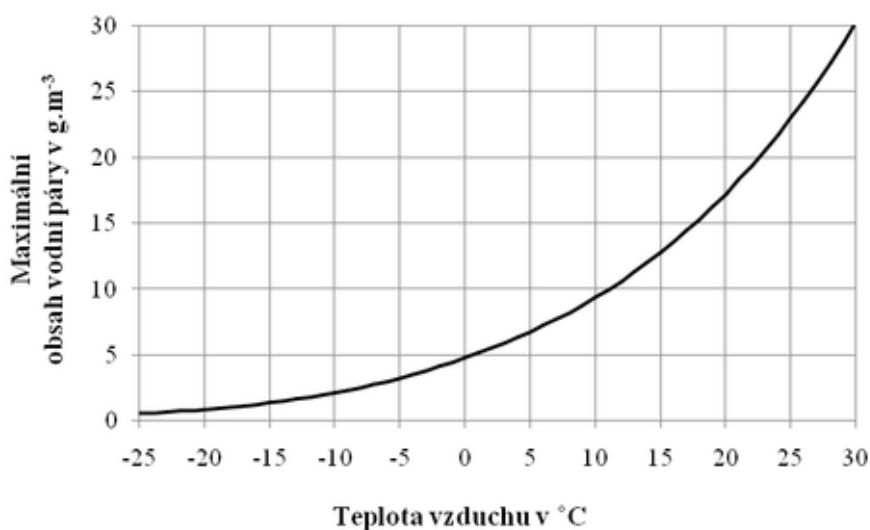
4.4 Srážky

Voda je ve vzduchu nejvíce rozšířena ve formě vodní páry. Do vzduchu se neustále dostává velké množství vodní páry. Zdrojem vodní páry je hlavně: odpařování vody vlivem teploty a část vydechovaná organismy. Pro vznik srážek je důležitá teplota, která udává hranici, kdy se přebytečné vodní páry začínají srážet na okolních předmětech, tzv. rosný bod. Za podmínky dostatečného nasycení vzduchu a dosažení teploty rosného bodu dojde k vytvoření vodních kapek. Ty mohou podle podmínek vypadat různě. Vliv má hlavně výška od země. Při zemi vznikají mlhy a rosa, ve vyšších vrstvách naopak vznikají oblaky tvořené ledovými krystalky. Viditelným projevem uvedených procesů jsou mraky. Časové a prostorové rozložení srážek na Zemi je velmi nerovnoměrné. Přesto lze vymezit oblasti (pásky) s podnebným režimem a ročními úhrny srážek: vlhký teplý pás, suchý teplý pás, vlhký mírný pás a suchý studený pás. Místní rozdíly v rozložení srážek bývají nejčastěji způsobeny místním charakterem georeliéfu (nadmořská výška, vznik návětrných a závětrných poloh a srážkového stínu). Srážky se měří například ombrometrem.

Rosný bod: je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami (relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100 %). Pokud teplota klesne pod tento bod, nastává kondenzace. Teplota rosného bodu je různá pro různé absolutní vlhkosti vzduchu: čím více je vodní páry ve vzduchu, tím vyšší je teplota rosného bodu, čili tím vyšší teplotu musí vzduch (a pára) mít, aby pára nezkondenzovala. Naopak pokud je ve vzduchu vodní páry jen velmi málo, může být vzduch chladnější, aniž pára zkondenzuje.

Vzduch za určité teploty může obsahovat jen určité množství vodních par. Čím je teplota vzduchu (a tím i páry) vyšší, tím více páry může v jednotce objemu být, aniž začne pára kapalnět. Pokud se vzduch začne ochlazovat, vodní páry začnou kondenzovat.

Graf závislosti obsahu vodní páry na teplotě vzduchu.



Obrázek 4-1 Závislost vodní páry na teplotě

Srážky vertikální: Tyto srážky mají počátek v oblacích. Mraky dělíme podle jejich výšky na vysoké (6-11 km) a nízké do 2 km. Když dosáhne hmotnost vody v mraku takové míry, že již není možné, aby se masa udržela ve vzduchu pomocí vzestupných proudů, dojde k převládnutí gravitace a voda padá k zemi. Podle podmínek v atmosféře se změní také charakter srážek. Do srážek vertikálních patří:

- Déšť: klasické kapky vody (kapalina obklopená svou parou v rovnováze) s různým průměrem.
- Sníh: padající drobné krystalky ledu - vločky, vločky mají různý tvar a žádné dvě vločky nejsou stejné.
- Kroupy: extrémní případ srážek. Jde o velké kompaktní kusy ledu, většinou kulovitěho nebo vejcovitého tvaru. Mohou mít velikost od průměru několika milimetrů až do velikosti golfových míčků. Kroupy se mohou objevit v kterémkoliv ročním období. Kroupy mají při dopadu velkou energii a tudíž často tvoří značné škody na majetku.

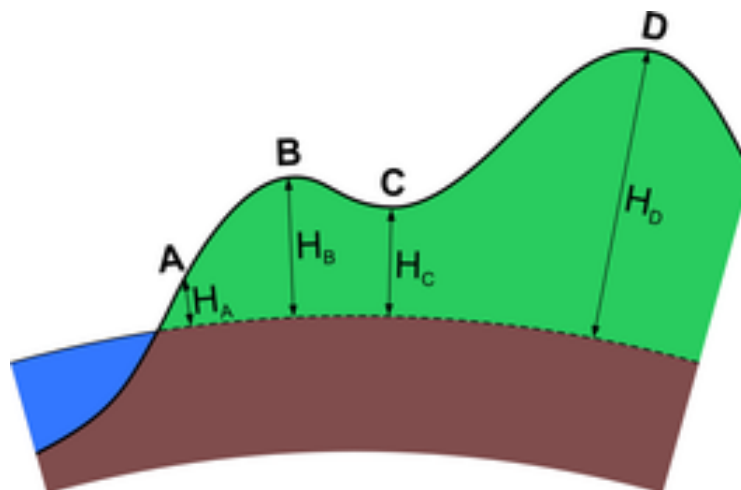
Srážky horizontální: Tvoří se těsně při zemi. Do skupiny kondenzačních srážek patří:

- Mlha: velmi drobné kapičky tvořící se na kondenzačních jádrech (např. prachové zrnka) - velikostí může zabrat od několika jednotek m³ až do několika tisíců m³ na ploše až několik set m².
- Rosa: jde o kapky vody, které kondenzují na povrchu půdy, rostlin a na předmětech nízko nad zemí. Nalezneme jí hlavně po ránu a navečer.
- Jinovatka: jde o podobné srážky jako rosa, ovšem vzniká při mrazech.
- Námraza: jde o směs krystalků ledu a amorfni formy, která v tenké vrstvě pokrývá plochu předmětů poblíž země. Důležité pro tvoření námrazy je, aby teplota povrchu daného předmětu dosáhla 0°C.

4.5 Nadmořská výška

Je vertikální vzdálenost určitého místa na zemi k hladině moře (obvykle nejbližšího). Udává se v metrech nad mořem (m n. m.). Rozdíl nadmořských výšek dvou bodů se nazývá převýšení. Nadmořské výšky v České republice jsou udávány k hladině Baltského moře po vyrovnání. Až do roku 1955 v tehdejší Československu, a před tím v Rakousko-Uhersku, byl používán tzv. výškový systém jadranský, jehož základ tvořila střední hladina Jaderského moře v Terstu, která je proti baltskému systému o 0,46 m výše.

Nadmořská výška v bodech A, B, C, D



Obrázek 4-2 Měření nadmořské výšky

4.6 Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu udává, jaké množství vody v plynném stavu obsahuje dané množství vzduchu. Vodní páru nemůžeme vidět nebo cítit. Při dané teplotě je vzduch schopen pojmout jen určité množství vodní páry. Čím je vzduch teplejší, tím více vlhkosti (vodní páry) může pojmout. Pokud teplota poklesne a vzduch již není schopen pojmout původní množství vlhkosti, přebytek se vyloučí jako zkapalněná vodní pára. Tu poté při zemi pozorujeme jako např. rosu. Tato situace nastává při dosažení rosného bodu (relativní vlhkost je 100%), více o rosném bodu je v kapitole 4.4. Množství vodní páry je s časem velice proměnlivé a liší se na každém místě. Pro vyjádření množství vodních par ve vzduchu slouží hned několik charakteristik: tlak vodní páry (sytostní doplněk), absolutní vlhkost vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rosný bod, poměr směsi a měrná vlhkost vzduchu.

Tlak vodní páry: udává dílčí tlak vodní páry ve směsi se suchým vzduchem. Měří se v hPa. Tlak v okolí vody v pevném skupenství je odlišný od tlaku v okolí kapalné vody.

Absolutní vlhkost: nepoužívá se moc často. Jiný název je hustota (hmotnost) vodní páry. Jednotkou je $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Vyjadřuje hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu vzduchu.

Relativní vlhkost: Nejčastěji používané vyjádření vlhkosti vzduchu. Označuje se také jako poměrná. Je to bezrozměrná veličina, která se většinou udává v procentech. Rozsah je od 0 do 100 %. Měří se vlhkoměrem. Udává poměr mezi napětím vodní páry a napětím nasycené vodní páry při stejných teplotách. Je to procentní poměr skutečného množství páry ve vzduchu k maximálně možnému množství při dané teplotě. Relativní vlhkost vzduchu 100% znamená, že při dané teplotě již vzduch nemůže pojmout více vodní páry a při poklesu teploty dochází ke zkapalnění přebytečného množství vodních par (což se projeví například vznikem rosy či

zamlžením skla). Při změně teploty vzduchu se množství vodních par ve vzduchu nemění. Změní se maximální možné množství páry, které vzduch může pojmout, a tím pádem i relativní vlhkost vzduchu (vzduch se tedy stane relativně sušším/vlhčím).

Poměr směsi: Další možnost, jakou lze vyjádřit vlhkost vzduchu. Používá se např. na aerologických stanicích. Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která se udává v g.kg^{-1} . Definujeme ji jako poměr mezi hustotou vodní páry a suchým vzduchem.

Měrná vlhkost: Je to poměr hustoty vodní páry a vlhkého vzduchu. Jako směšovací poměr se jedná o bezrozměrnou veličinu vyjádřenou v g.kg^{-1} .

Měření vlhkosti vzduchu

Psychrometrická (srovnávací) metoda: používala se zejména v minulosti. Používají se při ní dva teploměry. První měří normální teplotu vzduchu a druhý tzv. „mokrou teplotu“. Jedná se o teploměr, který je ve spodní části omotan vlhkou punčochou. Z psychrometrických tabulek se poté odečte ta správná relativní vlhkost vzduchu.

Vlhkoměr: dalším způsob, jak určit vlhkost vzduchu. S ním se nejčastěji setkáme v domácnostech a na pracovištích. Využívá například lidského vlasu a jeho vlastnosti absorbovat vzdušnou vlhkost a měnit svou délku dle vlhkosti.

Elektronické měření: v dnešní době se nejvíce využívá tahle metoda, kdy se čidla ukrývají v radiačním krytu.

4.7 Sluneční záření

Sluneční záření je elektromagnetické vlnění o vlnových délkách, které před vstupem do zemské atmosféry připomíná spektrum absolutně černého tělesa. Sluneční spektrum se obvykle dělí na tři hlavní části a podle toho rozlišujeme:

- Ultrafialové (UV)
- Viditelné
- Infračervené

Ultrafialové: značí se UV, vlnové délky menší než 390 nm, které před vstupem do zemské atmosféry tvoří asi 7 % energie celkového elektromagnetického slunečního záření a až 4% jsou absorbovány atmosférickým ozónem ve stratosféře. Množství UV záření se zvyšuje s nadmořskou výškou. Můžeme jej dále dělit na:

I. Daleké: značení FUV, VUV, zahrnuje vlnové délky menší než 200 nm. Je známo pod pojmem vzduchoprázdno či vakuum a na zemský povrch vůbec nedopadá. Veškeré množství je pohlceno zemskou atmosférou. Velkou měrou štěpí kyslík na ozon.

II. Blízké: značení NUV, zahrnuje vlnové délky 200 – 390 nm. Dále se dělí na:

UVA: vlnová délka 315-390 nm (dlouhovlnné, černé světlo). Cca 99 % dopadeného UV záření na zemský povrch je tohoto typu. Dopadá během celého roku, i když je zataženo. Nezpůsobuje člověku bolest, je schopno projít až k buňkám, které může ovlivnit. Produkuje volné radikály. Většina tohoto záření je vhodná pro tvorbu vitamínu A a D. Způsobuje stárnutí kůže.

UVB: vlnová délka 280-315 nm (středovlnné). Představuje 5 % z ultrafialového záření, které dopadá na Zemi. Je plné energie a zastavují ho mraky i sklo. Je

odpovědné za opálení, ale také za spálení (sluncem). Škodlivé pro živé organismy, způsobuje akutní a chronické poškození kůže. Je z převážné většiny absorbováno ozónem ve stratosféře. Ze slunečního záření, které dopadá na nejvyšší vrstvy atmosféry neproniká žádné UV záření s vlnovou délkou pod cca 295 nm. Je zhoubné pro živé organismy. Jeho energie je schopná rozkládat nebo narušovat bílkoviny nebo jiné životně důležité organické sloučeniny s vážnými následky pro metabolismus postiženého jedince. Větší dopad má na jednobuněčné organismy, které dokáže úplně zničit (dokáže změnit strukturu molekuly DNA nesoucí genetickou informaci, vyvolat poškození funkcí organel, ovlivnit osmotický tlak nebo spustit lyzi). Proniká i vodou, ale jen do hloubky několika metrů (kde je však soustředěna většina podvodních organismů). Negativně ovlivňuje vzrůst zelených rostlin, účinnost fotosyntézy, ale i celkovou plochu jejich listů. U dvou třetin hospodářských plodin byl zjištěn úbytek zemědělské produkce v souvislosti se zvýšeným působením UVB záření. Dlouhodobě zvýšené působení UVB záření by vyústilo v nepředvídatelné změny v morfologii biosféry (každý živočišný či rostlinný druh je na UV záření různě citlivý). Trend směřující k dominanci odolnějších druhů nad méně odolnějšími by odstartoval nesmírně složitou síť kauzálních mezidruhových vztahů, jejichž důsledky není možné odhadnout.

UVC: vlnová délka pod 280 nm (krátkovlnné, dezinfekční). Je pohlceno atmosférickým ozónem, umělým zdrojem jsou germicidní lampy používané v laboratořích k likvidaci bakterií. Při vlnové délce do 260 nm způsobuje úhyn organismů. Je nejtvrďší UV záření. Je jedním ze dvou způsobů vzniku ozónu - při dopadu na dvojatomární molekulu kyslíku jí toto záření dodá energii pro vznik ozónu, který je touto reakcí absorbován. Je zhoubné (karcinogenní) pro živé organismy. Na rozdíl od UVB, které dokáže proniknout jen několika vrstvami buněk, je penetrace UVC pletivy a tkáněmi živých organismů poměrně větší. Toto UV záření již začíná být ionizující.

Viditelné záření: má vlnovou délku 390-760 nm. Jeho barevné spektrum je od fialové po červenou. Je zdrojem světla a tepla a tzv. fotosynteticky aktivní radiace. Okolo 48 % energie elektromagnetického slunečního záření před vstupem do atmosféry. Na zemi se dostane v rozmezí 21-46 %, přičemž jeho podíl je vyšší při zatažené obloze (může dosáhnout až 60 %).

Infračervené (tepelné) záření: značí se IR, vlnová délka větší než 750 nm, má fotoperiodické účinky. Před vstupem do atmosféry tvoří přibližně 45 % z toku energie slunečního záření. Vyzářování tepla je nezbytné v energetické bilanci živočichů. Jeho suma je dána přímým vstupem do atmosféry se slunečním zářením a vyzářeným teplem, které přijaly energii jiných vlnových délek.

5 PRAKTICKÁ ČÁST

Měření elektrických vlastností epoxidových izolačních hmot bylo realizováno ve školních laboratořích.

5.1 Laboratorní pracoviště a přístroje

Časové charakteristiky byly měřeny na zařízení firmy Agilent, model 4339B High resistance meter.



Obrázek 5-1 Zařízení Agilent 4339B

Tenhle přístroj byl připojen k elektrodovému systému 16008B Resistivity cell, taktéž od firmy Agilent.



Obrázek 5-2 Elektrodový systém 16008B

Tohle zařízení má v sobě napěťovou, měřicí a ochranu elektrodu. Zároveň se do něj vkládá měřený vzorek. Celý systém je propojen s počítačem, kde jsme schopni jej ovládat pomocí obslužného softwaru VEE Pro, který je od stejného výrobce. Výstup naměřených dat byl nastaven pro export do programu MS Excell, aby bylo možné následně naměřené hodnoty porovnávat v grafech či tabulkách. Tenhle 3 elektrodový systém se nejběžněji používá právě pro měření vnitřního odporu materiálu mezi deskami. Měřicí elektroda má předem daný rozměr.

Klimatická komora byla použita od firmy BMT Medical technology. Dosahuje parametrů: objem 111l, teplotní rozsah 0-100 °C bez vlhkosti, 10-90 °C s vlhkostí, rozsah vlhkostí 10-95% RH. Komoru lze programovat.



Obrázek 5-3 Klimatická komora od BMT

5.2 Měřené vzorky a výpočty

Měřené vzorky byly vyrobeny firmou ABB s.r.o.. Jednalo se o elektroizolační zalévací hmotu na bázi epoxidové pryskyřice, vyrobenou tlakovou metodou odlévání. Destičky měly rozměr 10x10x0,2cm. I přesto byla tloušťka každého vzorku 10x přeměřena mikrometrem a pro další výpočty se uvažovala průměrná hodnota.

Všechna naměřená data byla zaznamenána do MS Excel souborů a následně z těchto dat byly vytvořeny grafické závislosti. Na závislostech zobrazujících elektrické proudy je zvláštní, že nejvyšší hodnoty vybíjecího proudu je větší než nabíjecího. To je způsobeno nedokonalou účinností kondenzátoru při změně cyklů oproti dokonalému v nastavení programu. Nezapočítávají se zde jevy, které jsou uvnitř dielektrika při těchto přechodech.

Nejprve jsme vypočítali vnitřní odpor z protékajícího proudu v 60té vteřině a přiloženého napětí 500V. Následně byla vypočítána vnitřní rezistivita pomocí rozměrů elektrodového systému. Nakonec byla obdobně vypočtena povrchová rezistivita.

Vzorek 1

$$R_v = \frac{U}{I} = \frac{500}{1,067 \cdot 10^{-11}} = 4,69 \cdot 10^{13} \text{ ohm}$$

$$\rho_v = R_v \frac{\pi(d_1 + g)^2}{4h} = 4,69 \cdot 10^{13} \frac{\pi(0,05 + 0,01)^2}{0,003} = 4,42 \cdot 10^{13} \text{ ohm.m}$$

$$\rho_p = R_p \frac{\pi(d_1 + g)}{g} = 1,09 \cdot 10^{16} \frac{\pi(0,05 + 0,01)}{0,01} = 2,05 \cdot 10^{17} \text{ ohm}$$

Vzorek 2

$$R_v = \frac{500}{9,313 \cdot 10^{-12}} = 5,37 \cdot 10^{13} \text{ ohm}$$

$$\rho_v = 5,37 \cdot 10^{13} \frac{\pi(0,05 + 0,01)^2}{0,003} = 5,06 \cdot 10^{13} \text{ ohm.m}$$

$$\rho_p = 5,67 \cdot 10^{15} \frac{\pi(0,05 + 0,01)}{0,01} = 1,07 \cdot 10^{17} \text{ ohm}$$

Vzorek 3

$$R_v = \frac{500}{6,667 \cdot 10^{-12}} = 7,50 \cdot 10^{13} \text{ ohm}$$

$$\rho_v = 7,50 \cdot 10^{13} \frac{\pi(0,05 + 0,01)^2}{0,003} = 7,07 \cdot 10^{13} \text{ ohm.m}$$

$$\rho_p = 1,98 \cdot 10^{16} \frac{\pi(0,05 + 0,01)}{0,01} = 3,73 \cdot 10^{17} \text{ ohm}$$

Obrázek 5-4 Příklad výpočtů

Časové závislosti vnitřní rezistivity byly aproximovány mocninnou funkcí:

$$\rho_v(t) = B \cdot t^n$$

koeficient n koresponduje s mocninným exponentem v rovnici vyjadřující časovou závislost nabíjecího proudu, danou vztahem:

$$i(t) = A \cdot t^{-n} + I_{\text{vod}}$$

Činitel mocninné funkce B byl využit ke stanovení koeficientu A v s využitím vztahu:

$$\rho_v = R_v \frac{S_{ef}}{h} = \frac{U \cdot S_{ef}}{i(t) \cdot h} = \frac{U \cdot S_{ef}}{A \cdot h} \cdot t^n,$$

$$\text{resp. } A = \frac{U \cdot S_{ef}}{B \cdot h}.$$

ZÁVĚR

V diplomové práci byla nastudována a sepsána teorie o vlivu klimatických činitelů, zejména relativní vlhkosti a teploty na vlastnosti epoxidových pryskyřic. Aby bylo porozuměno všem pojmům a souvislostem k tématu, práce seznamuje čtenáře s obecnými vlastnostmi a rozdělením dielektrik a izolantů. Dále popisuje makromolekulární látky, jelikož mezi ně se řadí epoxidové pryskyřice. Další část se zabývá klimatickými činiteli.

V rámci spolupráce s Brněnskou pobočkou ABB, byly vyrobeny 2 sady vzorků epoxidových pryskyřic. První sada byla vyrobena se standardním složením směsi a druhá tzv. synpo složení směsi.

Praktická část se zabývá měřením elektrických vlastností (vnitřního a povrchového odporu, vnitřní a povrchové rezistivity) dodaných vzorků. Vzorky byly nejprve stabilizovány v klimatické komoře. Poté bylo prováděno vlastní měření na k tomu daných zařízeních. Jelikož technické vybavení neumožňovalo změření všech požadovaných veličin, musela být vnitřní a povrchová rezistivita numericky dopočítána. Příklad výpočtů je uveden výše. Pro snadnější vyvození závěrů k provedeným měřením byly zkonstruovány grafy pro porovnání jednotlivých složení při daných vlhkostech a teplotách. Grafy jsou uvedeny a popsány v příloze. Tabulka naměřených hodnot je v příloze uvedena pro ukázkou, jelikož naměřených dat byla spousta a výsledky lze snadněji určit z grafů.

Výsledky měření lze popsat takto: standardní hmota má horší elektrické vlastnosti než hmota synpo. Ta je však výrobně dražší, záleží tedy na specifikaci použití, aby bylo zvoleno, která bude vhodnější. Zde bude působit více faktorů, velkou míru bude mít zajisté faktor ekonomický. S růstem jak teploty klesá výsledný vnitřní a povrchový odpor i rezistivita. Rozdílný výsledek byl při působení relativní vlhkosti. Pokud vystavíme vzorky vlhkosti okolí a vyšší (tedy nad 50%), jsou změny ve stejném smyslu charakteru, avšak když vzorky vystavíme vlhkosti nižší, v tomto případě bylo měřeno při 40%, tak výsledný odpor i rezistivita klesá. Při působení pouze relativní vlhkosti prostředí na vystavené vzorky, není změna celkových hodnot odporů a rezistivit zdaleka tak velká, jako když působí pouze teplota. Při vystavení vzorků měřeným rozsahům vlhkosti se hodnoty mění cca v rozsahu 1 řádu, avšak při vystavení měřeným teplotám se odporové hodnoty mění v rozsahu cca 3 řádů. Z toho lze usoudit, že působení samotné relativní vlhkosti nemá tak velký účinek oproti působení teploty. Když necháme působit oba měřené vlivy, tak při zvyšování hodnot obou veličin je pochopitelně dominantní změna teploty a výsledné hodnoty se adekvátně mění. Změna hodnot je ještě o něco větší než při působení jednoho činitele. Pokud však teplotu zvyšujeme a zároveň vlhkost snižujeme, tak celkový rozdíl je znatelně menší než v předchozím případě. Změny hodnot klimatických činitelů tím vlastně působí proti sobě a číselné rozdíly celkových hodnot se zmenší na velikost zhruba 1 řádu.

Z důvodu časové náročnosti měření nebylo možné zjistit vliv UV záření na vystavené vzorky. Z naměřených výsledků můžeme říct, že dominantní vliv klimatických činitelů na změnu vlastností epoxidových pryskyřic má změna teploty, v nichž se vzorky nachází.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TOMÁŠ, Martin. Mechanismy polarizace. [online]. 2009. vyd. [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <http://dielektrika.kvalitne.cz/mechpolar.html>
- [2] HOLZBECHEROVÁ, Petra. MAKROMOLEKULÁRNÍ LÁTKY: Učební text, Hb 2009. [online]. 14.4.2009. [cit. 2013-12-02]. Dostupné z: <http://www.gymelg.cz/sites/default/files/chemie/SML.pdf>
- [3] KATEDRA. Navlhavost: Navlhavost polymerů. [online]. 15.11.2010. [cit. 2013-12-11]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c5/Navlhavost.pdf
- [4] KVIK. Mechanizmy koroze polymerů. [online]. 24.1.2007. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/
- [5] Zalévání elektroniky. [online]. [cit. 2013-12-01]. Dostupné z: <http://www.dawex.cz/lici-hmoty/zalevani-elektroniky>
- [6] Polykondenzace. [online]. [cit. 2013-12-07]. Dostupné z: <http://projektalfa.ic.cz/polykondenzace.htm>
- [7] Polyadice. [online]. [cit. 2013-12-07]. Dostupné z: <http://projektalfa.ic.cz/polyadice.htm>
- [8] KRISTINA. Termoplasty, termosety. [online]. [cit. 2013-12-07]. Dostupné z: [http://www.gvp.cz/~vondrackova/chemie/Syntetick%C3%A9%20makromolekul%C3%A1rn%C3%AD%20%C3%A1tky%20-%20refer%C3%A1ty/TERMOPLASTY,%20TERMOSETY\(Kubokov%C3%A1%20Kristina\).ppt](http://www.gvp.cz/~vondrackova/chemie/Syntetick%C3%A9%20makromolekul%C3%A1rn%C3%AD%20%C3%A1tky%20-%20refer%C3%A1ty/TERMOPLASTY,%20TERMOSETY(Kubokov%C3%A1%20Kristina).ppt)
- [9] Teplota vzduchu. [online]. [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <http://artemis.osu.cz/Gemet/meteo2/teplota.htm>
- [10] Tlak vzduchu. [online]. 2013 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/tlak-vzduchu.php>
- [11] Směr a rychlost větru. [online]. [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <http://artemis.osu.cz/Gemet/meteo2/sm%C4%9Bra.htm>
- [12] Vysvětlení některých meteorologických pojmů a jevů: déšť. [online]. [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: http://old.chmi.cz/meteo/olm/Let_met/Pojmy.htm#Děšť
- [13] Rosný bod. [online]. 26.8.2013 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Rosn%C3%BD_bod
- [14] Nadmořská výška. [online]. 9.11.2013 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Nadmo%C5%99sk%C3%A1_v%C3%BD%C5%A1ka
- [15] Vlhkost vzduchu. [online]. [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/vlhkost-vzduchu.php>
- [16] Sluneční záření. [online]. [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_EKOL/lesazareni/slunecnizareni.htm
- [17] VĚDECKY OSVĚTLENO: UVB A UVA ZÁŘENÍ: ČÍM SE LIŠÍ A JAKÉ JSOU JEJICH DOPADY NA KŮŽI?. [online]. [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <http://www.laroche-posay.cz/clanek/ochrana-pred-sluncem/a2778.aspx>
- [18] LIDARŮK, M. *Epoxidové pryskyřice*. Třetí, přepracované a rozšířené vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury, n. p., 1983.
- [19] RASCHKA, D. Technologie izolačních systémů pro aplikaci v oblasti vysokonapěťových měřících zařízeních. Brno, 2012. 48 s.
- [20] POLSTEROVÁ, H. Teplotní změny elektrických vlastností nanokompozitu na bázi epoxidové pryskyřice. Brno, 2011. *Electroscope – online časopis pro elektrotechniku*.
- [21] KAZELLE J., Karel LIEDERMANN, Josef JIRÁK, Svatopluk HAVLÍČEK, Jiří VANĚK, Zdenka ROZSÍVALOVÁ a Marie SEDLAŘÍKOVÁ. *Elektrotechnické materiály a výrobní procesy*. Brno. FEKT VUT v Brně.
- [22] JIRÁK, J., Rudolf AUTRATA, Karel LIEDERMANN, Zdenka ROZSÍVALOVÁ a Marie SEDLAŘÍKOVÁ. *Materiály a technická dokumentace*. Brno. FEKT VUT v Brně.

7 PŘÍLOHY

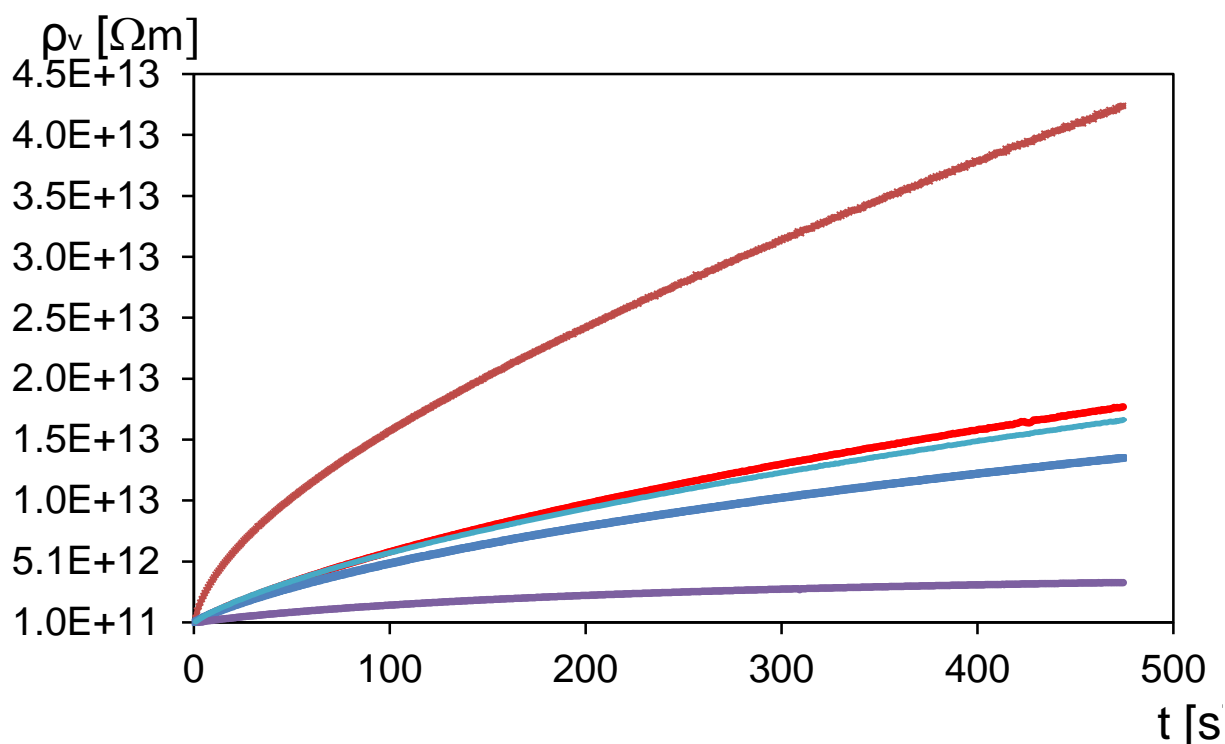
Obrázek 7-1 Tabulka naměřených hodnot pro hmotu synpo při 23°C a 50% relativní vlhkosti a standartní hmoty při 23°C a 40% relativní vlhkosti

synpo 23°C 50%				standart 23°C 40%			
U=500V				U=500V			
t [s]	Inab [A]	Ivyb [A]	Rv [Ω]	t [s]	Inab [A]	Ivyb [A]	Rv [Ω]
1,0111	1,08E-09		4,9E+11	1,0111	5,99E-09		1,27E+11
2,9753	3,33E-11		1,55E+13	2,9753	9,91E-10		9,32E+11
4,9403	1,81E-11		2,8E+13	4,9403	6,19E-10		1,47E+12
6,9083	1,27E-11		3,97E+13	6,9083	4,64E-10		1,93E+12
8,8763	1,11E-11		4,56E+13	8,8763	3,9E-10		2,28E+12
10,843	8,85E-12		5,69E+13	10,843	3,25E-10		2,7E+12
12,811	7,38E-12		6,82E+13	12,811	2,82E-10		3,09E+12
14,779	6,37E-12		7,89E+13	14,779	2,5E-10		3,46E+12
16,746	5,85E-12		8,58E+13	16,746	2,26E-10		3,82E+12
18,714	5,3E-12		9,47E+13	18,714	2,11E-10		4,07E+12
20,682	4,96E-12		1,01E+14	20,682	1,99E-10		4,31E+12
22,651	4,62E-12		1,09E+14	22,651	1,88E-10		4,55E+12
24,618	4,3E-12		1,17E+14	24,618	1,79E-10		4,79E+12
26,586	4,06E-12		1,24E+14	26,586	1,71E-10		5,01E+12
28,554	3,87E-12		1,3E+14	28,554	1,64E-10		5,23E+12
30,522	3,66E-12		1,37E+14	30,522	1,57E-10		5,45E+12
32,49	3,45E-12		1,46E+14	32,49	1,51E-10		5,66E+12
34,458	3,35E-12		1,5E+14	34,458	1,46E-10		5,87E+12
36,426	3,19E-12		1,58E+14	36,426	1,41E-10		6,07E+12
38,394	3,04E-12		1,65E+14	38,394	1,37E-10		6,27E+12
40,361	2,95E-12		1,7E+14	40,361	1,33E-10		6,46E+12
42,329	2,8E-12		1,8E+14	42,329	1,29E-10		6,65E+12
44,297	2,76E-12		1,82E+14	44,297	1,26E-10		6,84E+12
46,265	2,7E-12		1,86E+14	46,265	1,23E-10		7,03E+12
48,234	2,55E-12		1,97E+14	48,234	1,2E-10		7,22E+12
50,202	2,48E-12		2,02E+14	50,202	1,17E-10		7,39E+12
52,171	2,46E-12		2,04E+14	52,171	1,15E-10		7,56E+12
54,139	2,43E-12		2,08E+14	54,139	1,12E-10		7,74E+12
56,108	2,29E-12		2,19E+14	56,108	1,1E-10		7,92E+12
58,076	2,27E-12		2,21E+14	58,076	1,08E-10		8,08E+12
60,045	2,23E-12		2,26E+14	60,045	1,06E-10		8,26E+12
62,013	2,16E-12		2,32E+14	62,013	1,04E-10		8,41E+12
63,982	2,11E-12		2,38E+14	63,982	1,02E-10		8,58E+12
65,951	2,02E-12		2,49E+14	65,951	1,01E-10		8,76E+12
67,92	2E-12		2,51E+14	67,92	9,9E-11		8,91E+12
69,889	1,95E-12		2,57E+14	69,889	9,75E-11		9,06E+12
71,858	1,96E-12		2,56E+14	71,858	9,61E-11		9,23E+12
73,827	1,91E-12		2,63E+14	73,827	9,47E-11		9,39E+12
75,795	1,75E-12		2,9E+14	75,795	9,34E-11		9,53E+12
77,763	1,84E-12		2,74E+14	77,763	9,21E-11		9,69E+12

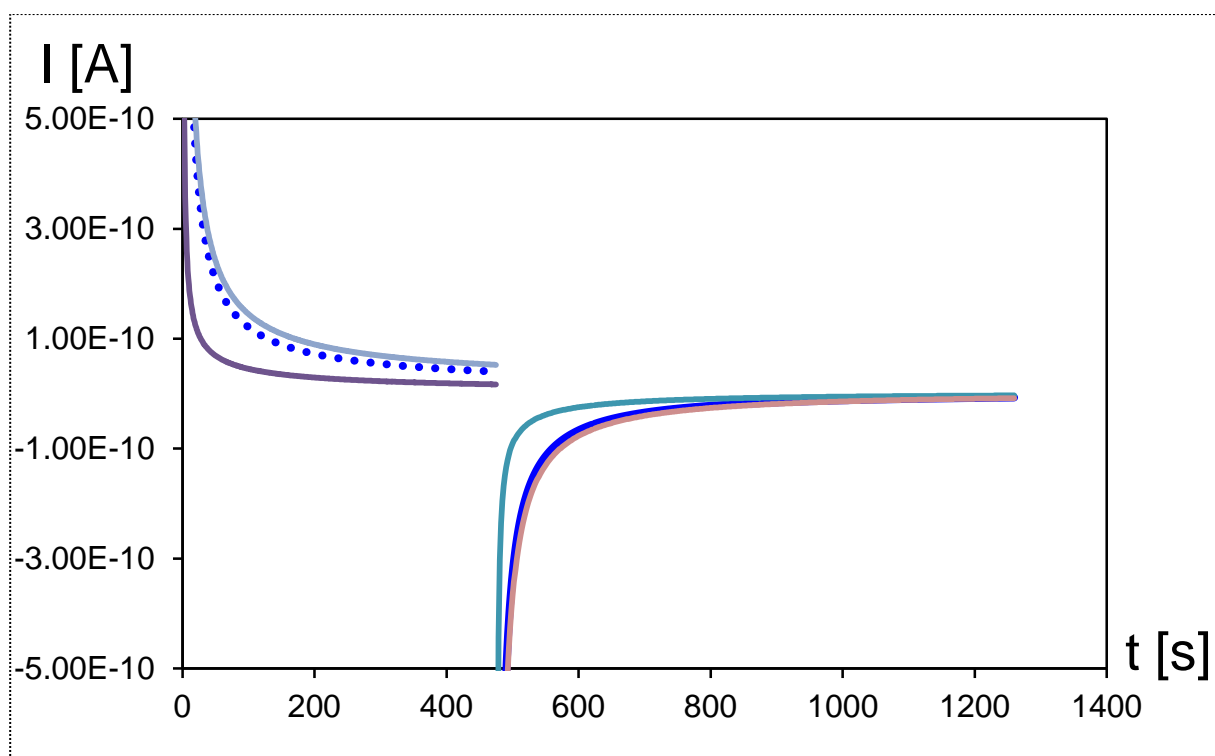
79,731	1,81E-12		2,78E+14	79,731	9,09E-11		9,85E+12
81,699	1,7E-12		2,96E+14	81,699	8,99E-11		9,98E+12
83,667	1,67E-12		3,01E+14	83,667	8,88E-11		1,01E+13
85,635	1,71E-12		2,93E+14	85,635	8,77E-11		1,03E+13
87,603	1,68E-12		2,99E+14	87,603	8,68E-11		1,04E+13
89,571	1,66E-12		3,03E+14	89,571	8,58E-11		1,06E+13
91,538	1,73E-12		2,94E+14	91,538	8,48E-11		1,07E+13
93,506	1,62E-12		3,12E+14	93,506	8,39E-11		1,09E+13
95,474	1,62E-12		3,11E+14	95,474	8,31E-11		1,1E+13
97,441	1,57E-12		3,21E+14	97,441	8,23E-11		1,12E+13
99,41	1,53E-12		3,29E+14	99,41	8,15E-11		1,13E+13
101,38	1,51E-12		3,34E+14	101,38	8,07E-11		1,14E+13
103,34	1,5E-12		3,36E+14	103,34	7,99E-11		1,16E+13
105,31	1,43E-12		3,52E+14	105,31	7,93E-11		1,17E+13
107,28	1,51E-12		3,35E+14	107,28	7,86E-11		1,18E+13
109,25	1,33E-12		3,9E+14	109,25	7,79E-11		1,19E+13
111,22	1,42E-12		3,55E+14	111,22	7,72E-11		1,21E+13
113,19	1,43E-12		3,52E+14	113,19	7,66E-11		1,22E+13
115,15	1,38E-12		3,65E+14	115,15	7,6E-11		1,23E+13
117,12		-7,8E-10		117,12	7,54E-11		1,25E+13
119,09		-3,3E-11		119,09	7,48E-11		1,26E+13
121,06		-1,7E-11		121,06	7,42E-11		1,28E+13
123,02		-1,1E-11		123,02	7,37E-11		1,28E+13
124,99		-9,6E-12		124,99	7,33E-11		1,3E+13
126,96		-7,2E-12		126,96	7,27E-11		1,31E+13
128,93		-5,8E-12		128,93		-4,9E-09	
130,9		-4,8E-12		130,9		-4,7E-10	
132,86		-4,3E-12		132,86		-2,6E-10	
134,83		-3,8E-12		134,83		-1,7E-10	
136,8		-3,5E-12		136,8		-1,4E-10	
138,77		-3,2E-12		138,77		-1,1E-10	
140,73		-2,9E-12		140,73		-8,6E-11	
142,7		-2,7E-12		142,7		-7,2E-11	
144,67		-2,5E-12		144,67		-6,1E-11	
146,64		-2,3E-12		146,64		-5,5E-11	
148,61		-2,1E-12		148,61		-5E-11	
150,57		-2E-12		150,57		-4,5E-11	
152,54		-1,9E-12		152,54		-4,1E-11	
154,51		-1,8E-12		154,51		-3,8E-11	
156,48		-1,7E-12		156,48		-3,5E-11	
158,45		-1,6E-12		158,45		-3,3E-11	
160,41		-1,5E-12		160,41		-3,1E-11	
162,38		-1,4E-12		162,38		-2,9E-11	
164,35		-1,4E-12		164,35		-2,7E-11	
166,32		-1,3E-12		166,32		-2,5E-11	
168,28		-1,3E-12		168,28		-2,4E-11	
170,25		-1,2E-12		170,25		-2,2E-11	
172,22		-1,2E-12		172,22		-2,1E-11	
174,19		-1,1E-12		174,19		-2E-11	
176,16		-1,1E-12		176,16		-1,9E-11	
178,12		-1E-12		178,12		-1,8E-11	

180,09	-9,9E-13	180,09	-1,7E-11
182,06	-9,5E-13	182,06	-1,7E-11
184,03	-9,2E-13	184,03	-1,6E-11
186	-8,9E-13	186	-1,5E-11
187,96	-8,6E-13	187,96	-1,5E-11
189,93	-8,3E-13	189,93	-1,4E-11
191,9	-8E-13	191,9	-1,3E-11
193,87	-7,8E-13	193,87	-1,3E-11
195,83	-7,6E-13	195,83	-1,2E-11
197,8	-7,3E-13	197,8	-1,2E-11
199,77	-7,1E-13	199,77	-1,2E-11
201,74	-6,9E-13	201,74	-1,1E-11
203,71	-6,7E-13	203,71	-1,1E-11
205,67	-6,6E-13	205,67	-1E-11
207,64	-6,4E-13	207,64	-1E-11
209,61	-6,2E-13	209,61	-9,8E-12
211,58	-6,1E-13	211,58	-9,5E-12
213,54	-5,9E-13	213,54	-9,2E-12
215,51	-5,8E-13	215,51	-8,9E-12
217,48	-5,6E-13	217,48	-8,6E-12
219,45	-5,5E-13	219,45	-8,4E-12
221,42	-5,4E-13	221,42	-8,1E-12
223,38	-5,2E-13	223,38	-7,9E-12
225,35	-5,1E-13	225,35	-7,7E-12
227,32	-5E-13	227,32	-7,5E-12
229,29	-4,9E-13	229,29	-7,3E-12
231,26	-4,8E-13	231,26	-7,1E-12

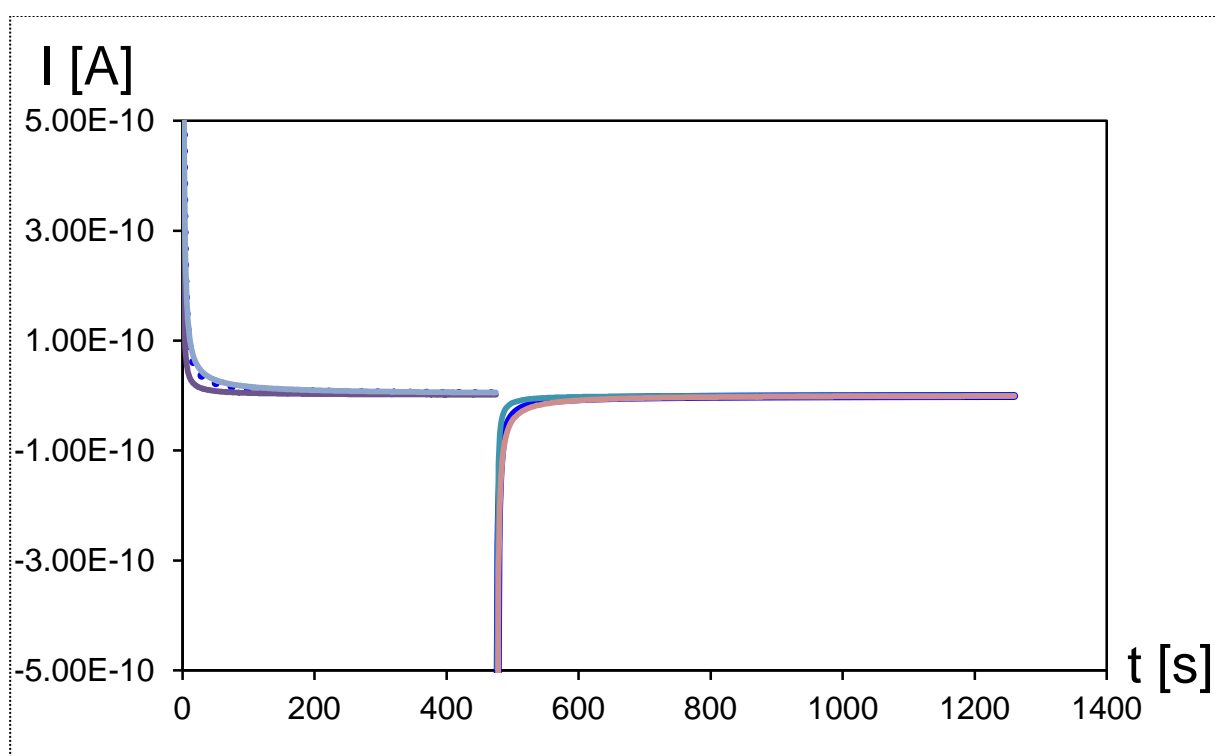
Obrázek 7-2 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 23°C hmoty Standart



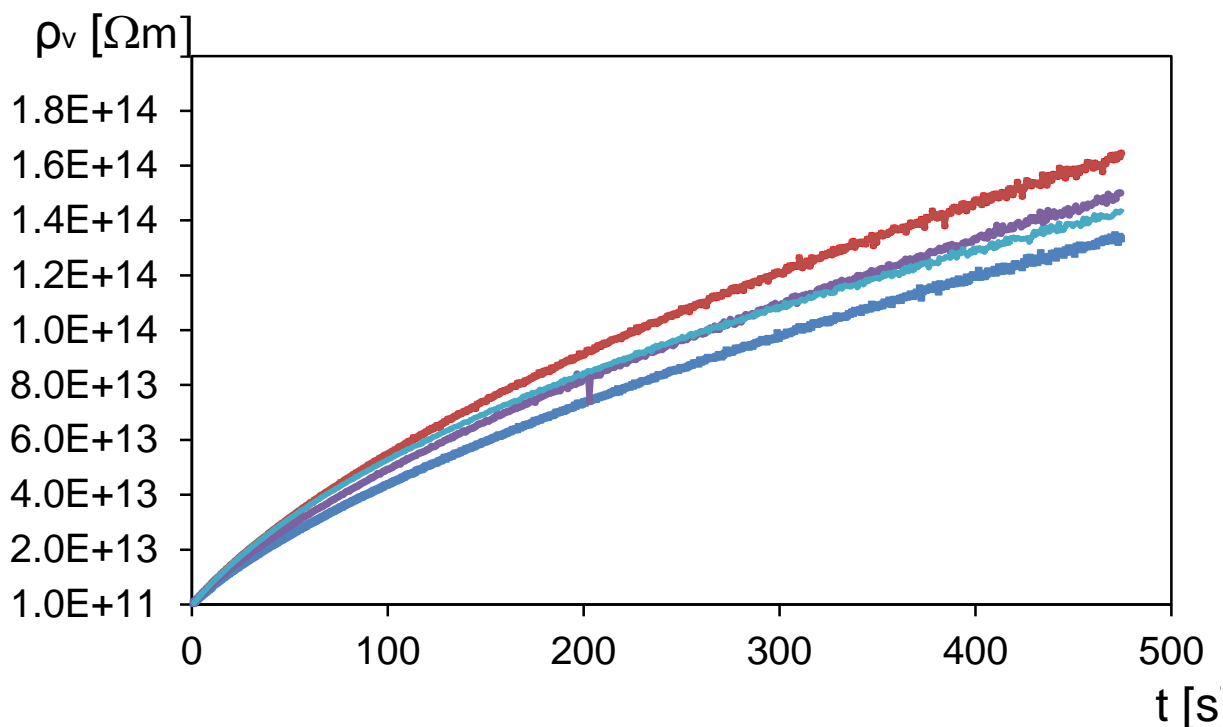
Obrázek 7-3 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 23°C hmoty Standart



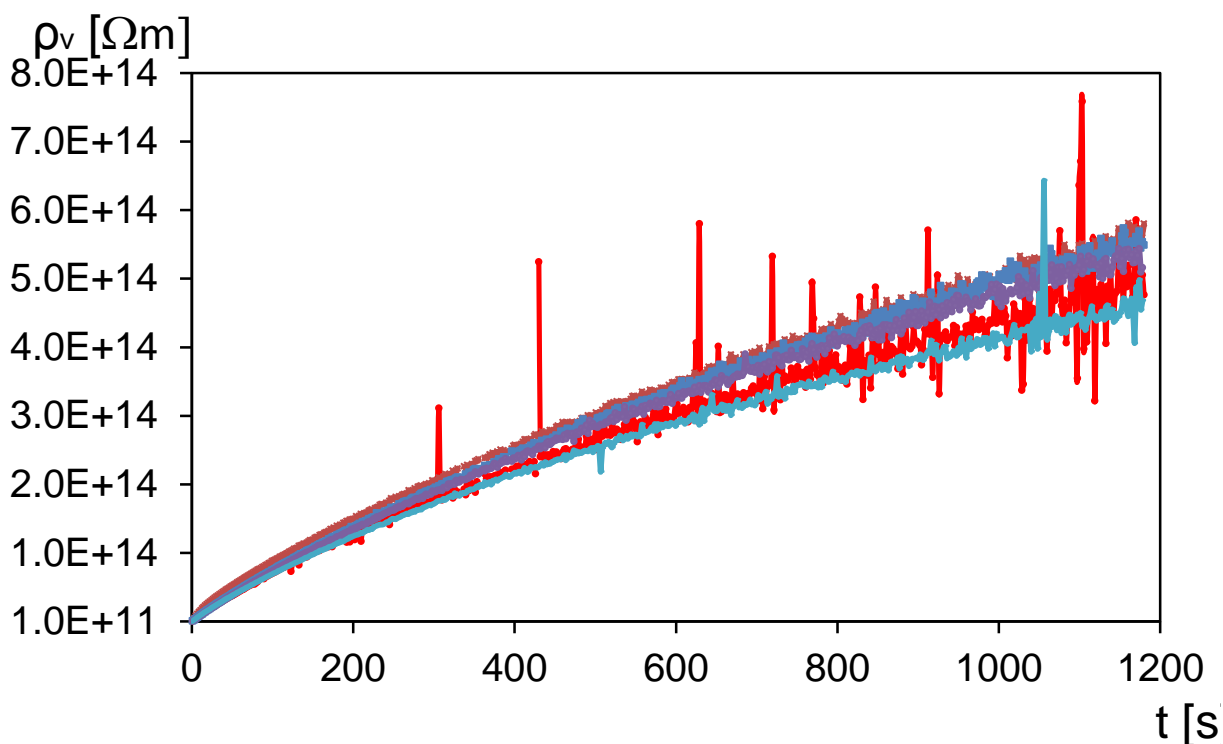
Obrázek 7-4 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 23°C hmoty Synpo



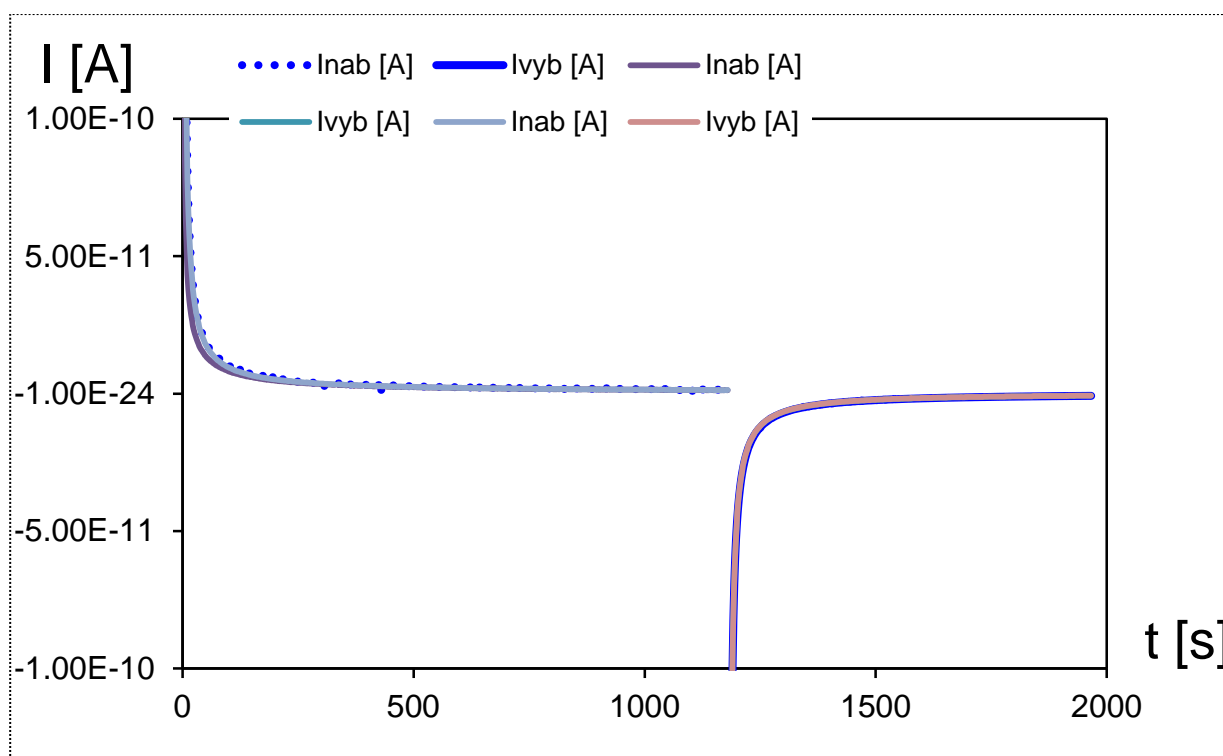
Obrázek 7-5 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 23°C hmoty Synpo



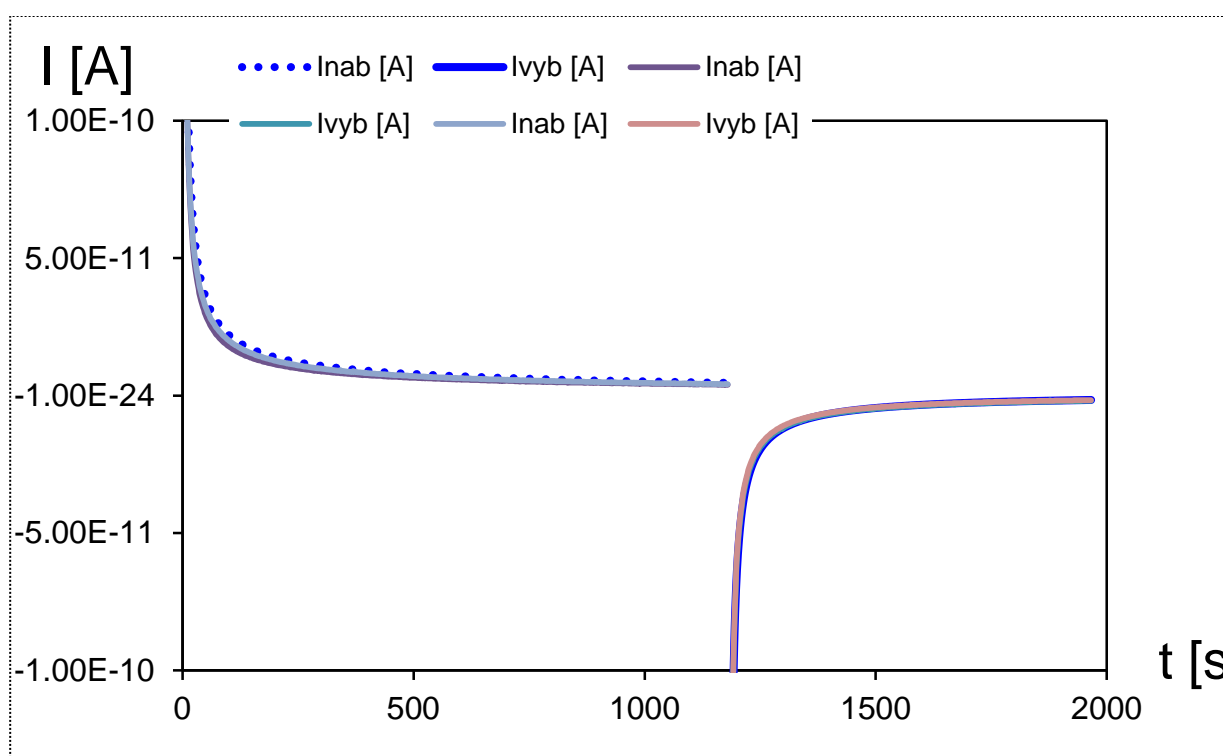
Obrázek 7-6 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 23°C hmoty Synpo



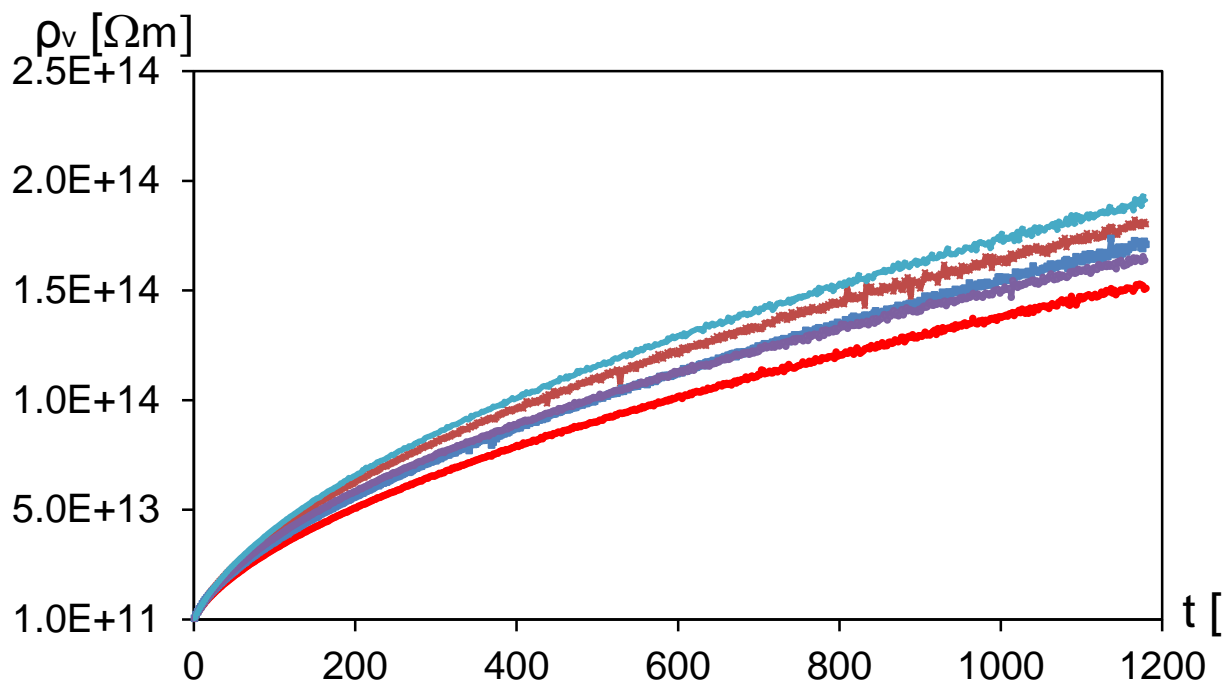
Obrázek 7-7 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 23°C hmoty Synpo



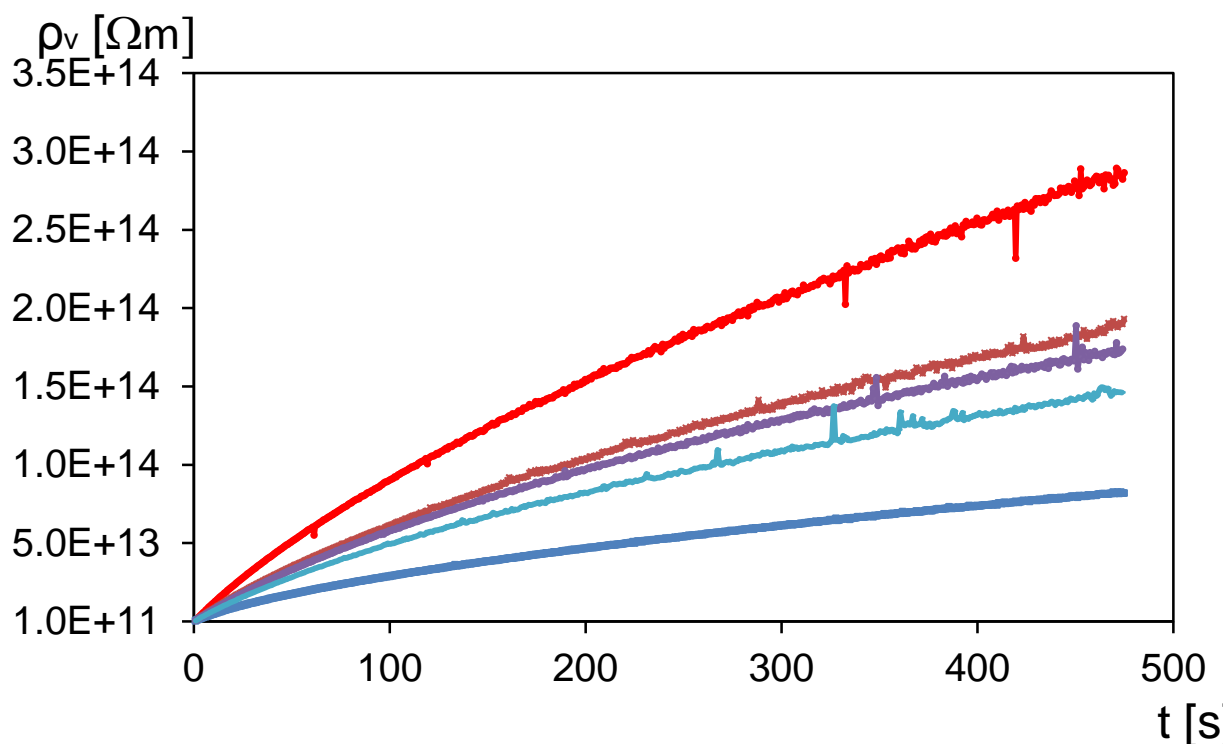
Obrázek 7-8 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 23°C hmoty Standart



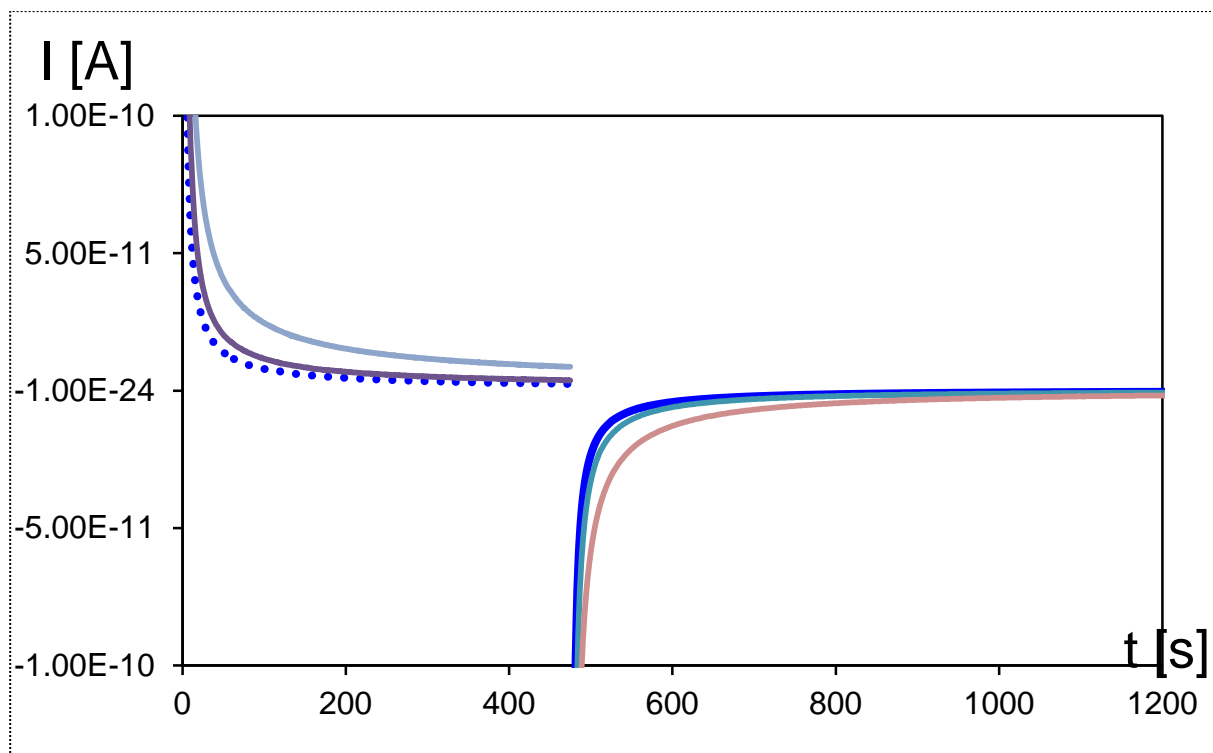
Obrázek 7-9 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 23°C hmoty Standart



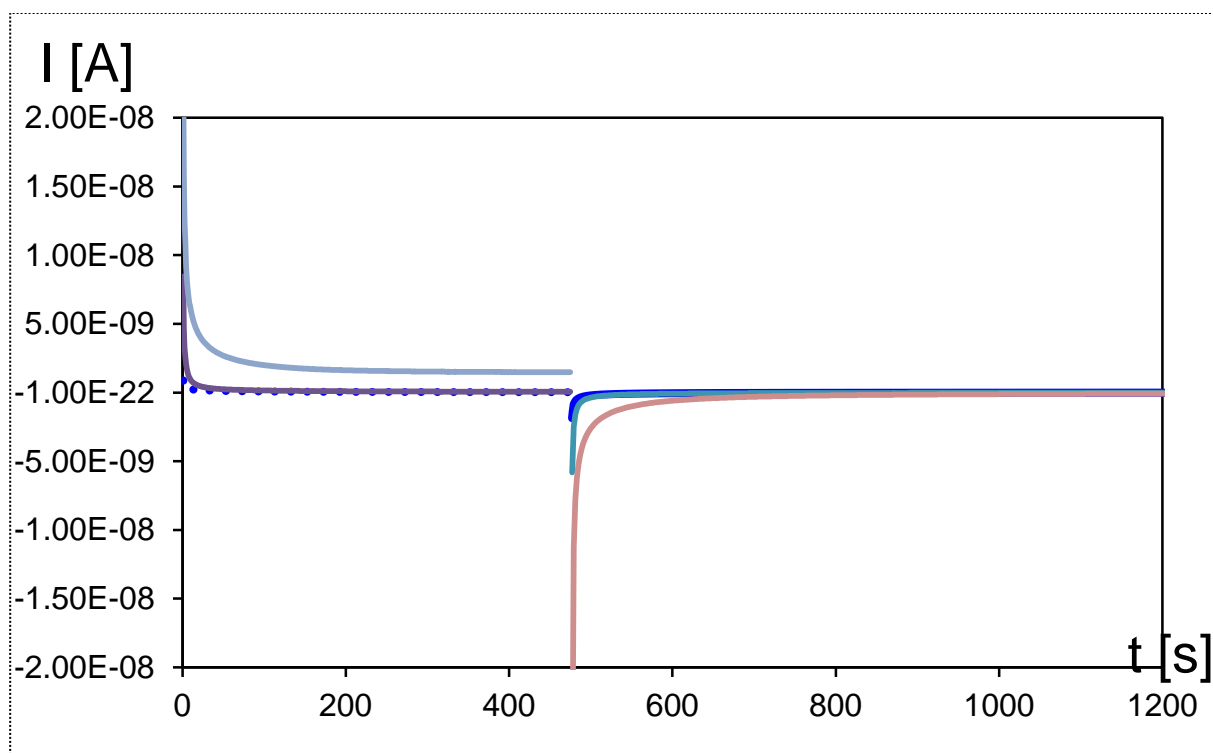
Obrázek 7-10 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 23°C hmoty Synpo



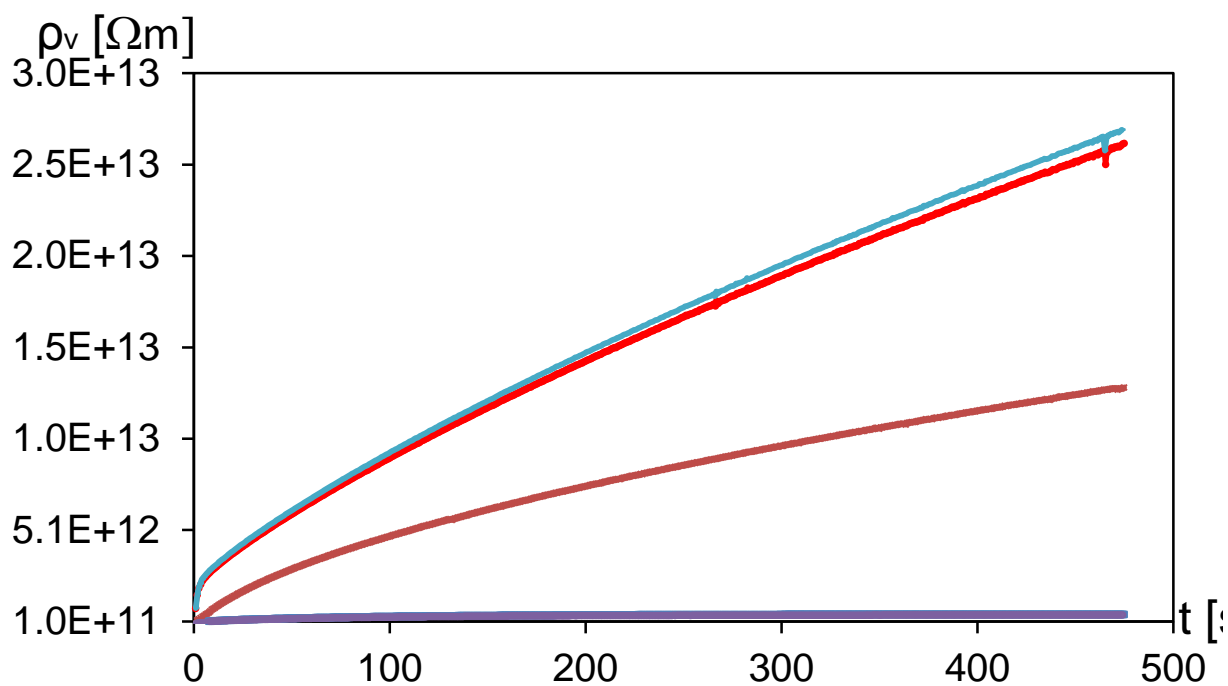
Obrázek 7-11 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 23°C hmoty Synpo



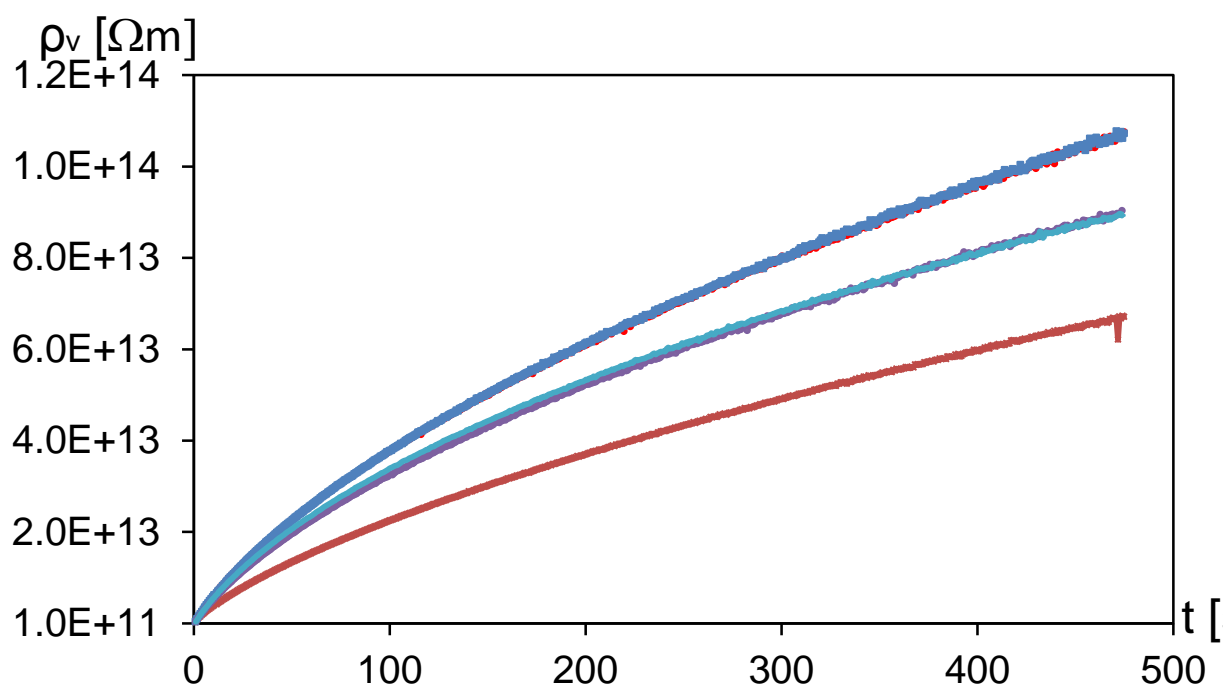
Obrázek 7-12 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 23°C hmoty Standart



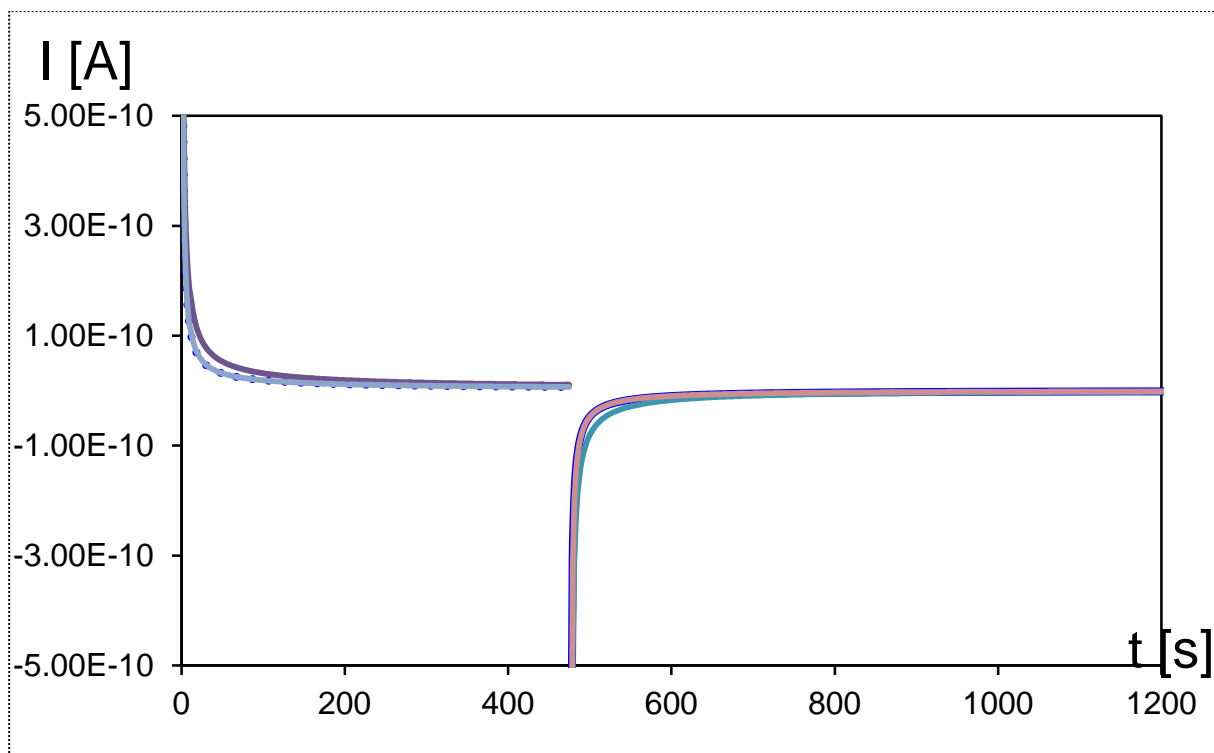
Obrázek 7-13 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 23°C hmoty Standart



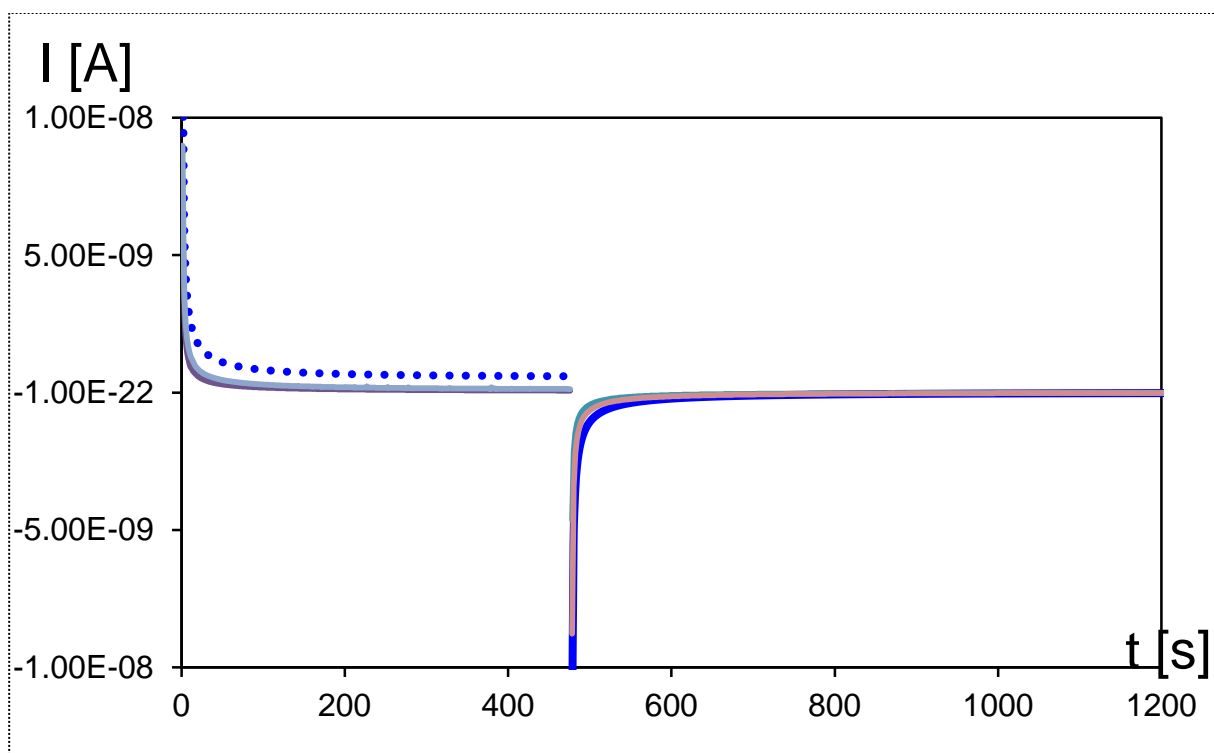
Obrázek 7-14 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 23°C hmoty Synpo



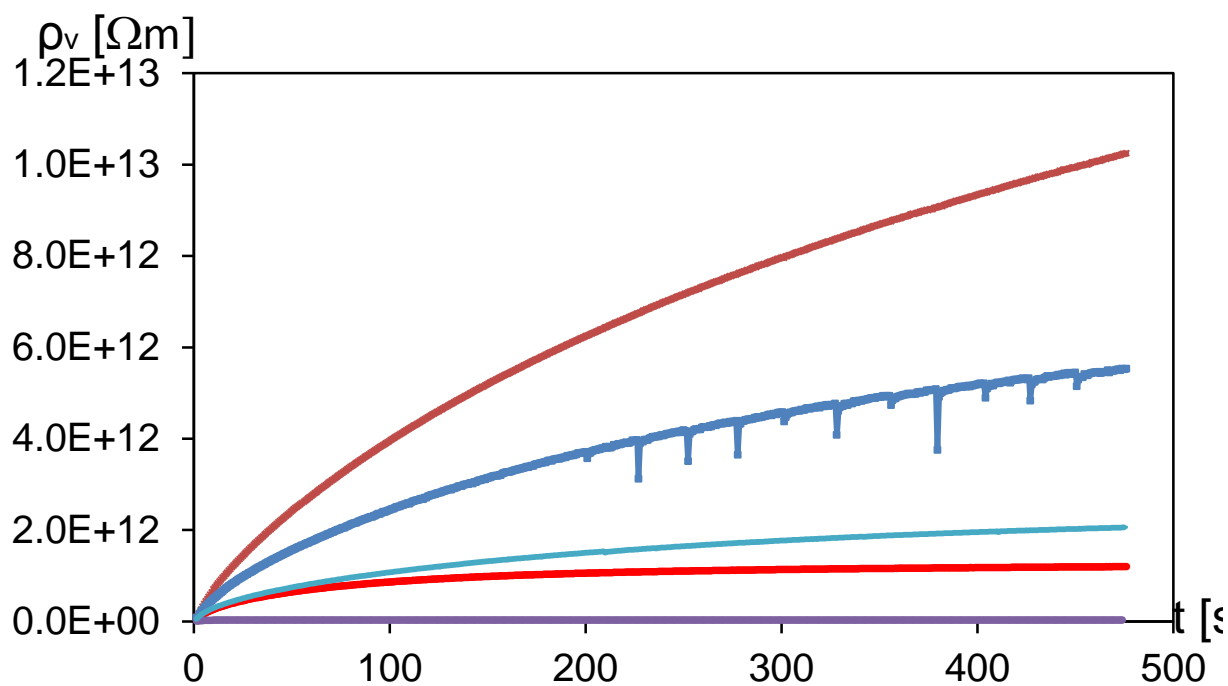
Obrázek 7-15 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 23°C hmoty Synpo



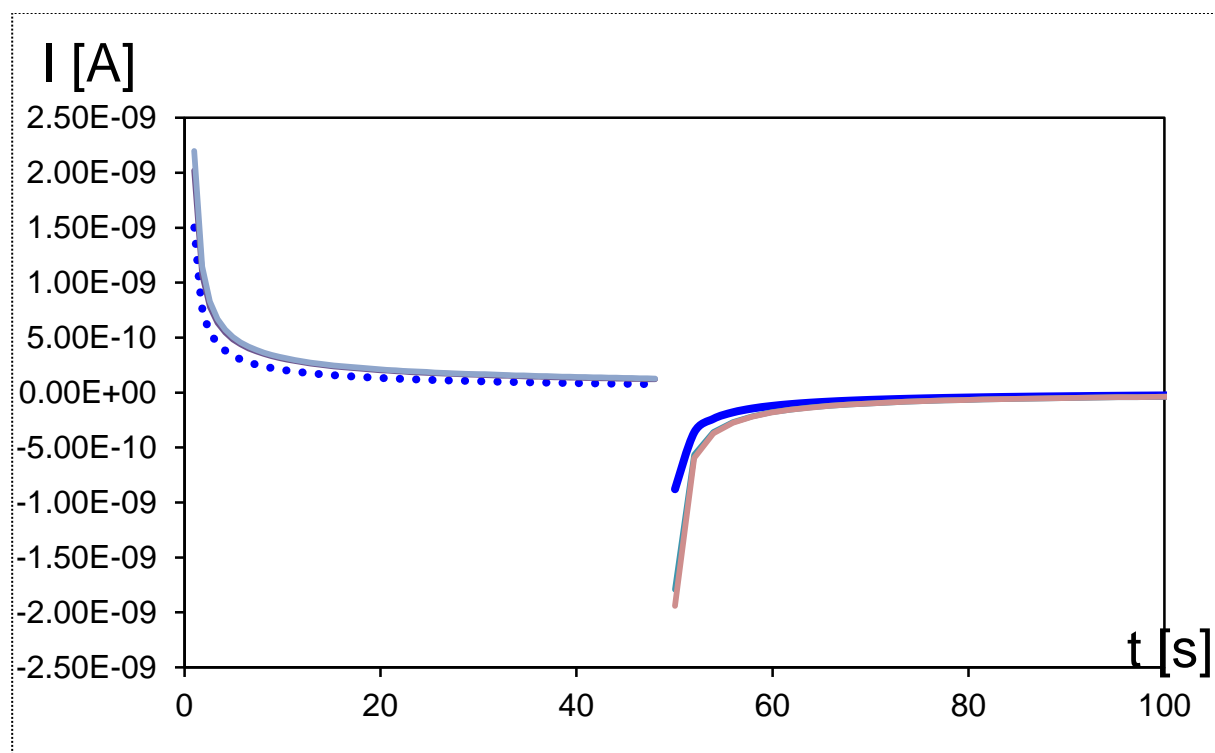
Obrázek 7-16 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 23°C hmoty Standart



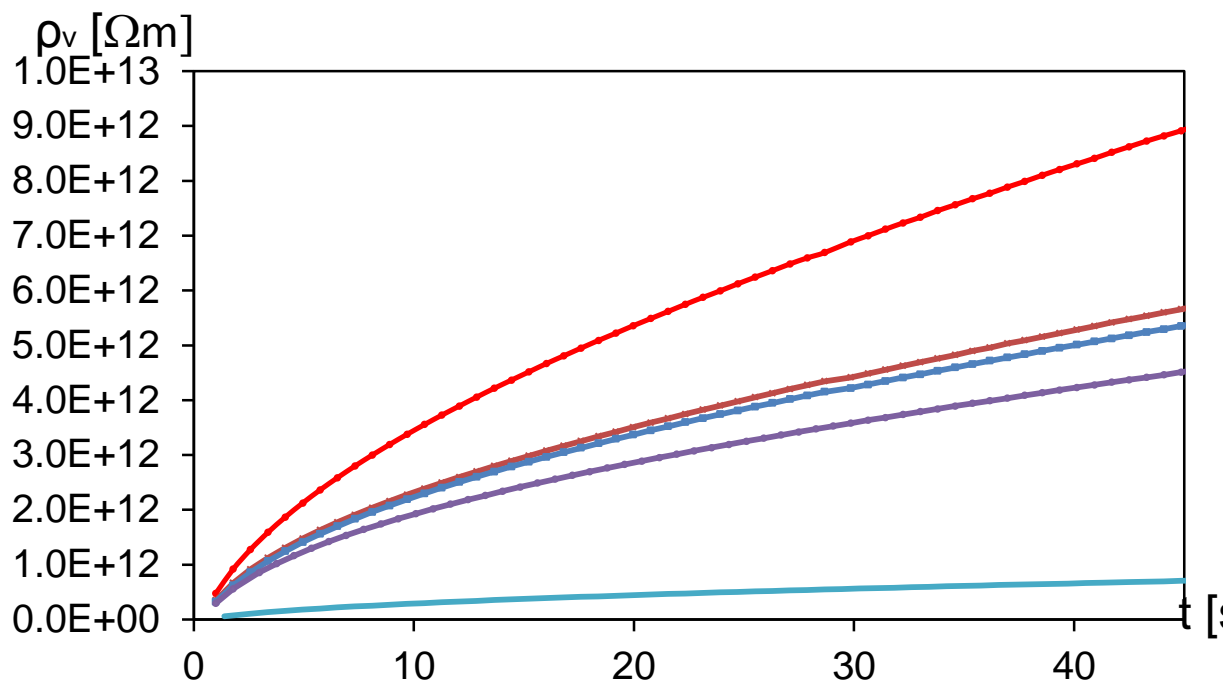
Obrázek 7-17 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 23°C hmoty Standart



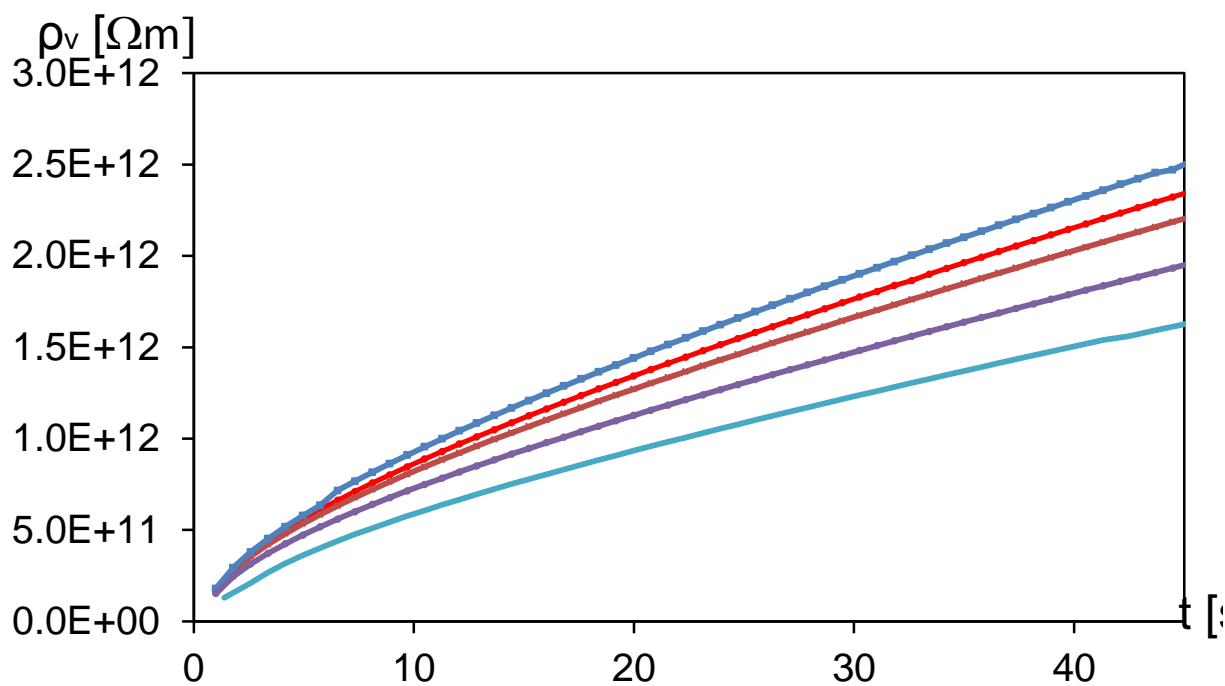
Obrázek 7-18 Porovnání I_{inab} , I_{ivyb} při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 40°C hmoty Synpo



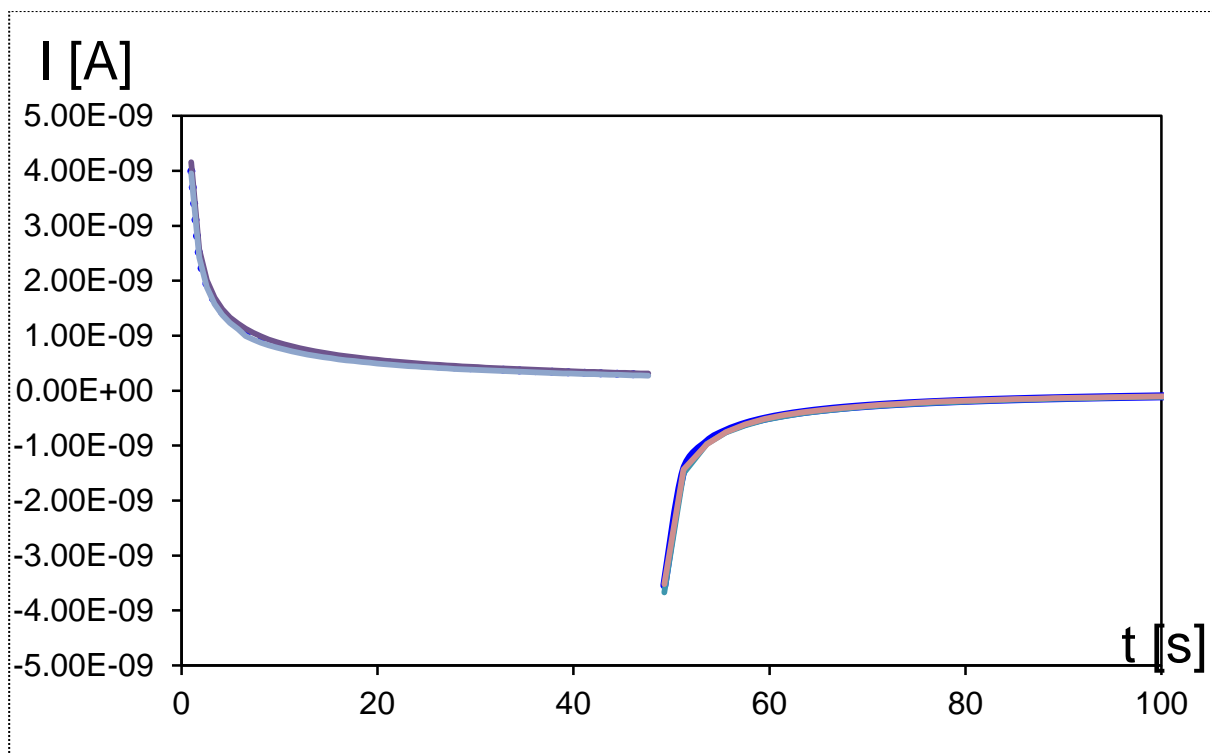
Obrázek 7-19 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 40°C hmoty Synpo



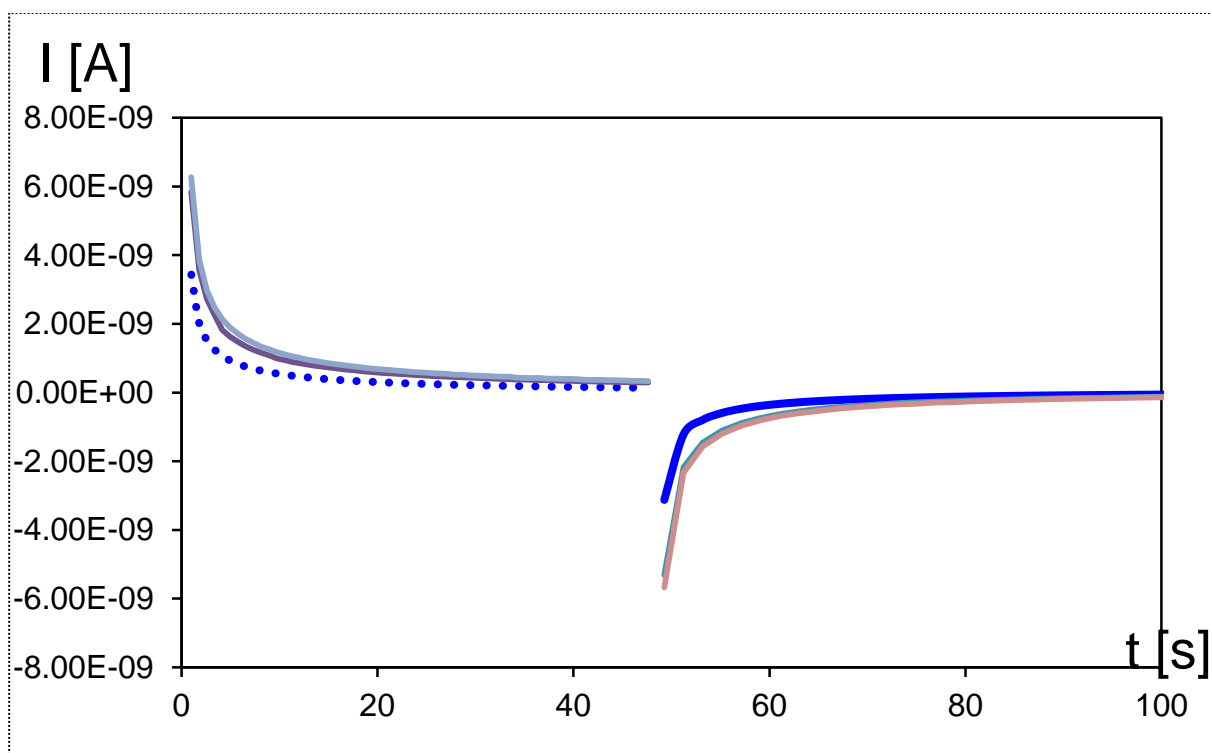
Obrázek 7-20 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 40°C hmoty Standart



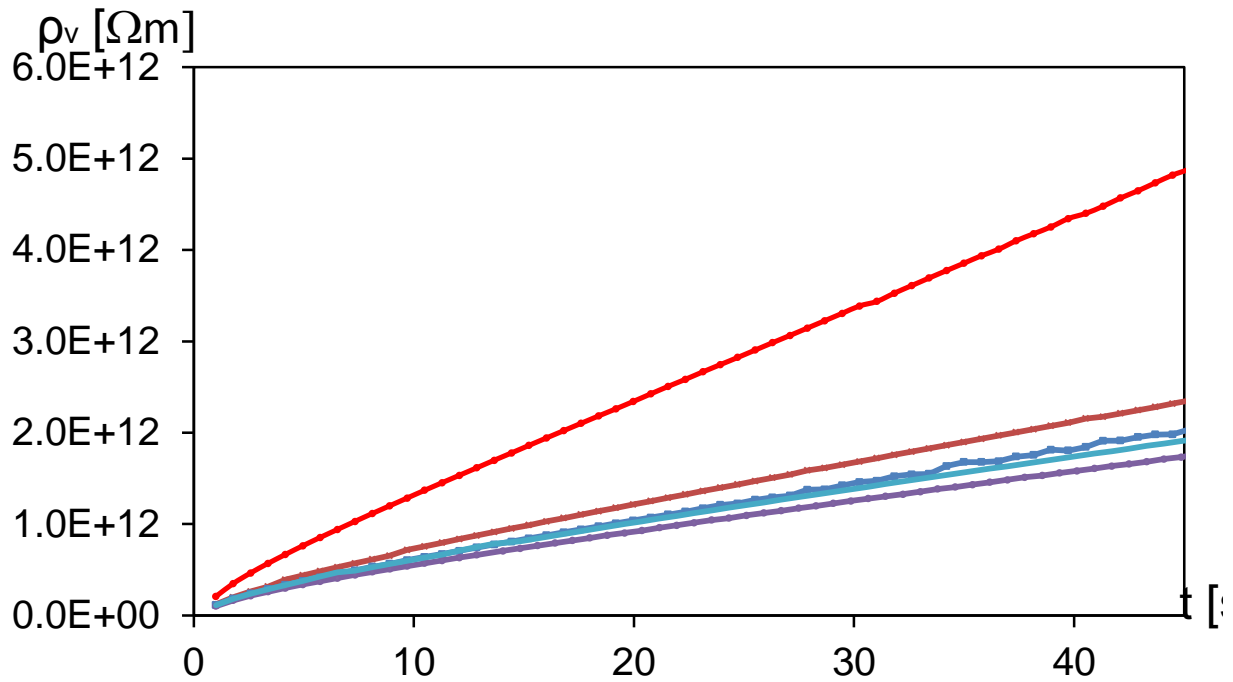
Obrázek 7-21 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 40°C hmoty Standart



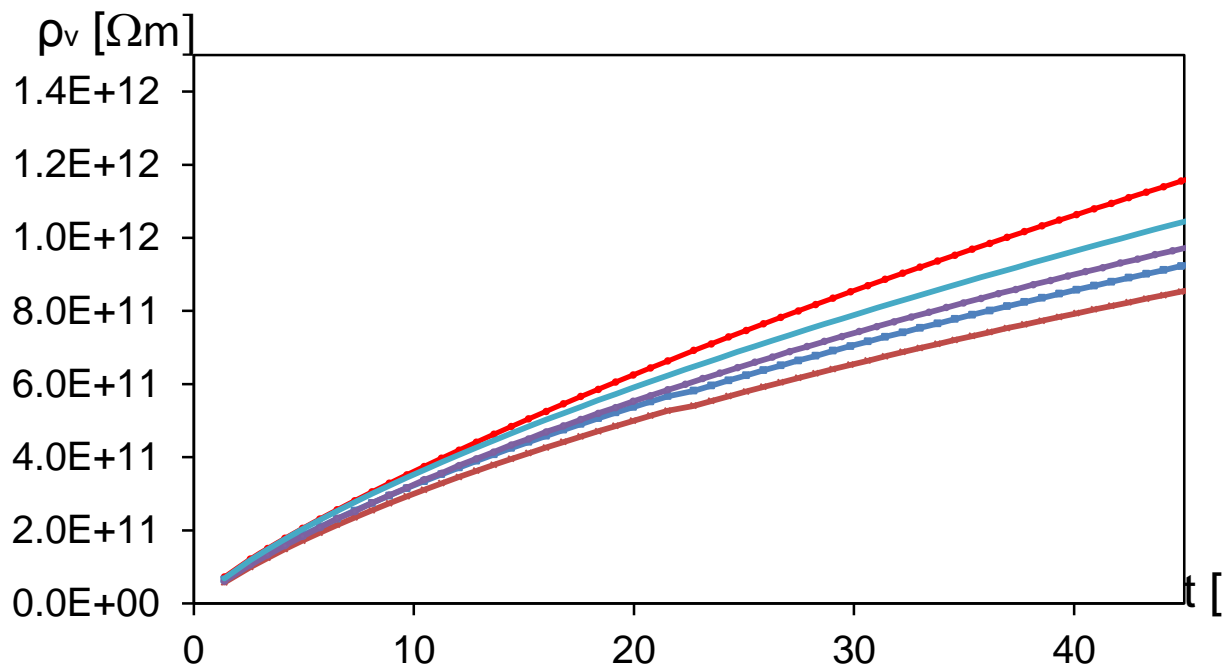
Obrázek 7-22 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 40°C hmoty Synpo



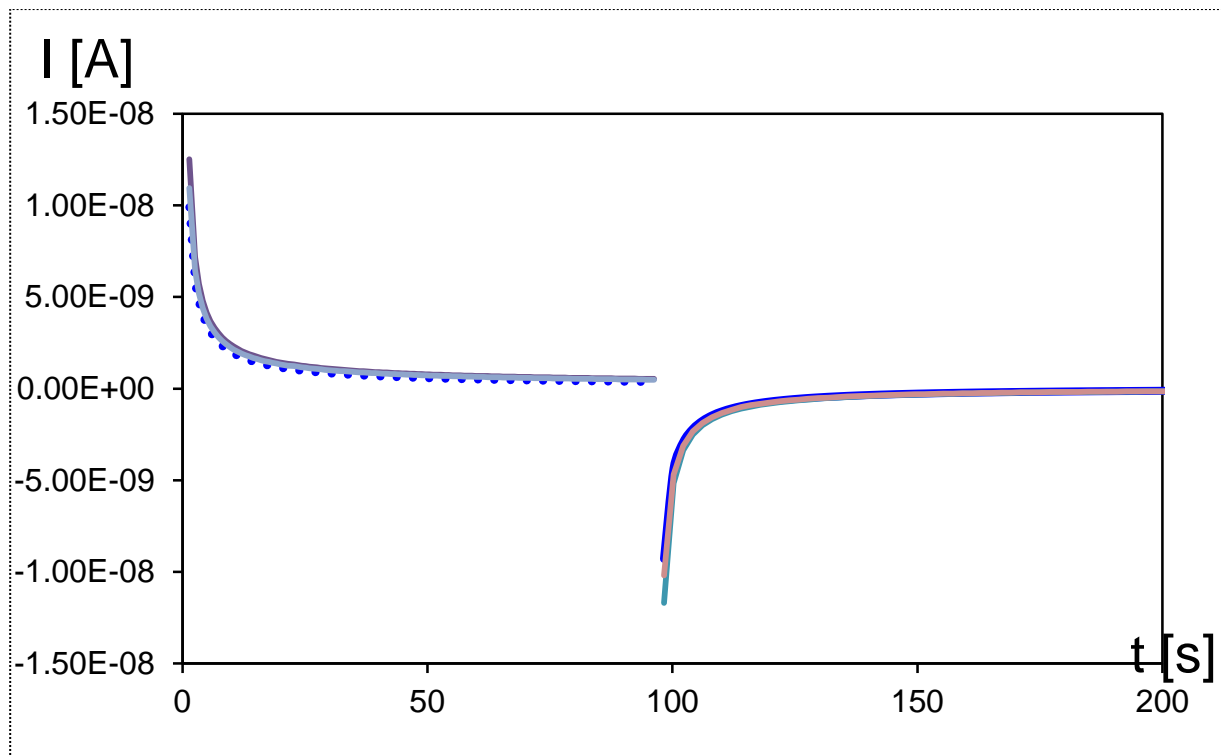
Obrázek 7-23 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 40°C hmoty Synpo



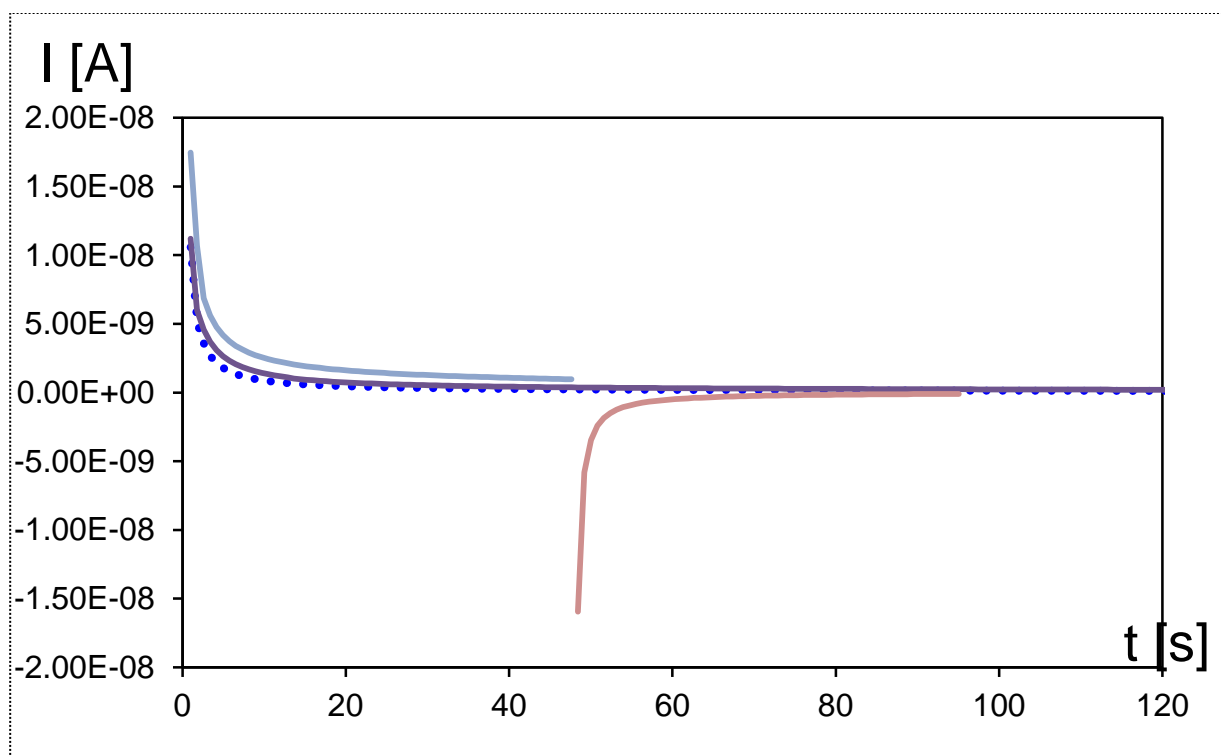
Obrázek 7-24 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 40°C hmoty Standart



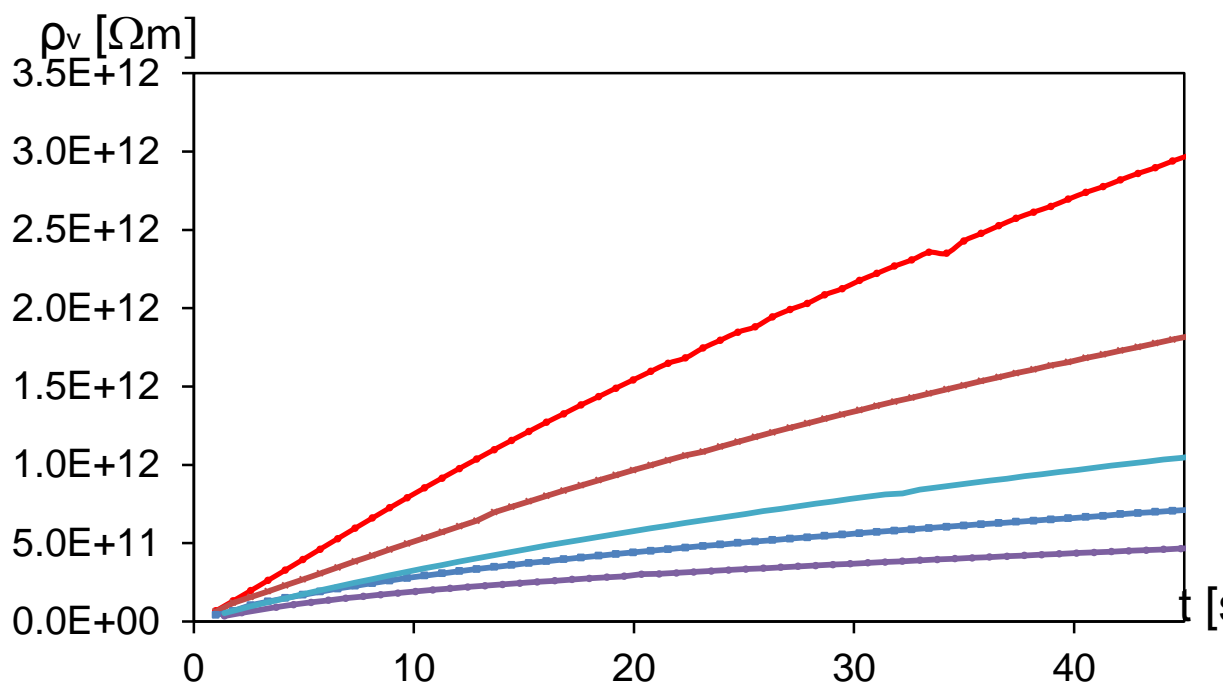
Obrázek 7-25 Porovnání Inab, Ivyb při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 40°C hmoty Standart



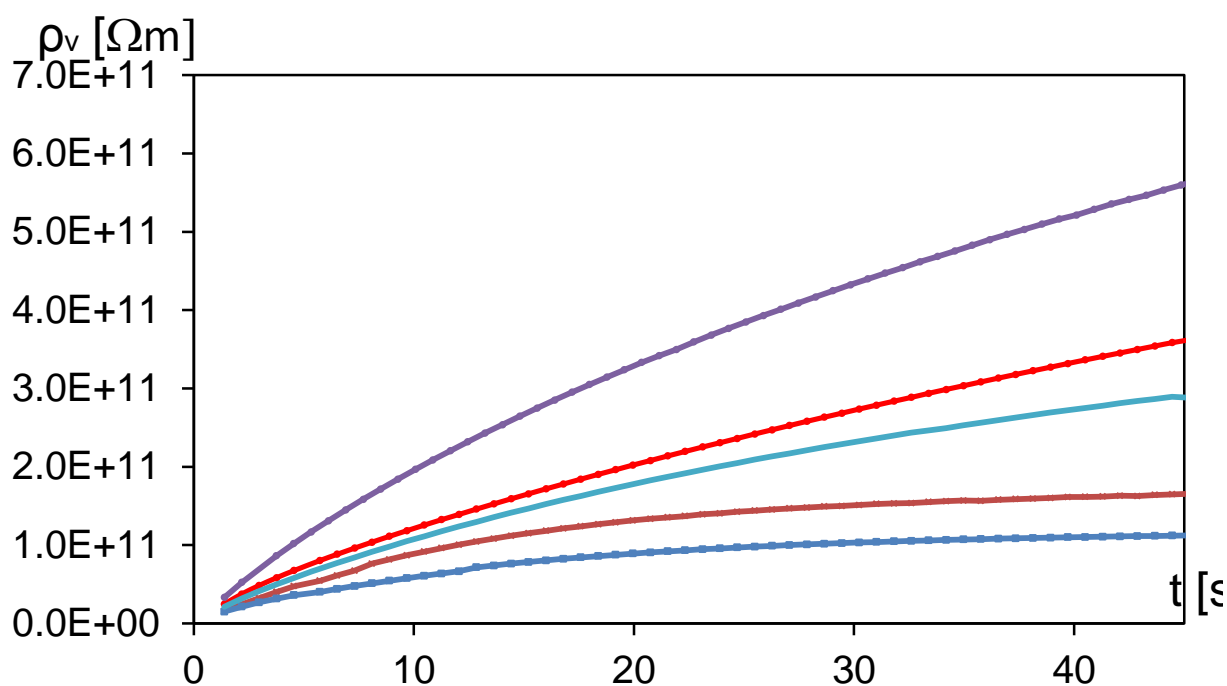
Obrázek 7-26 Porovnání Inab, Ivyb při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 40°C hmoty Synpo



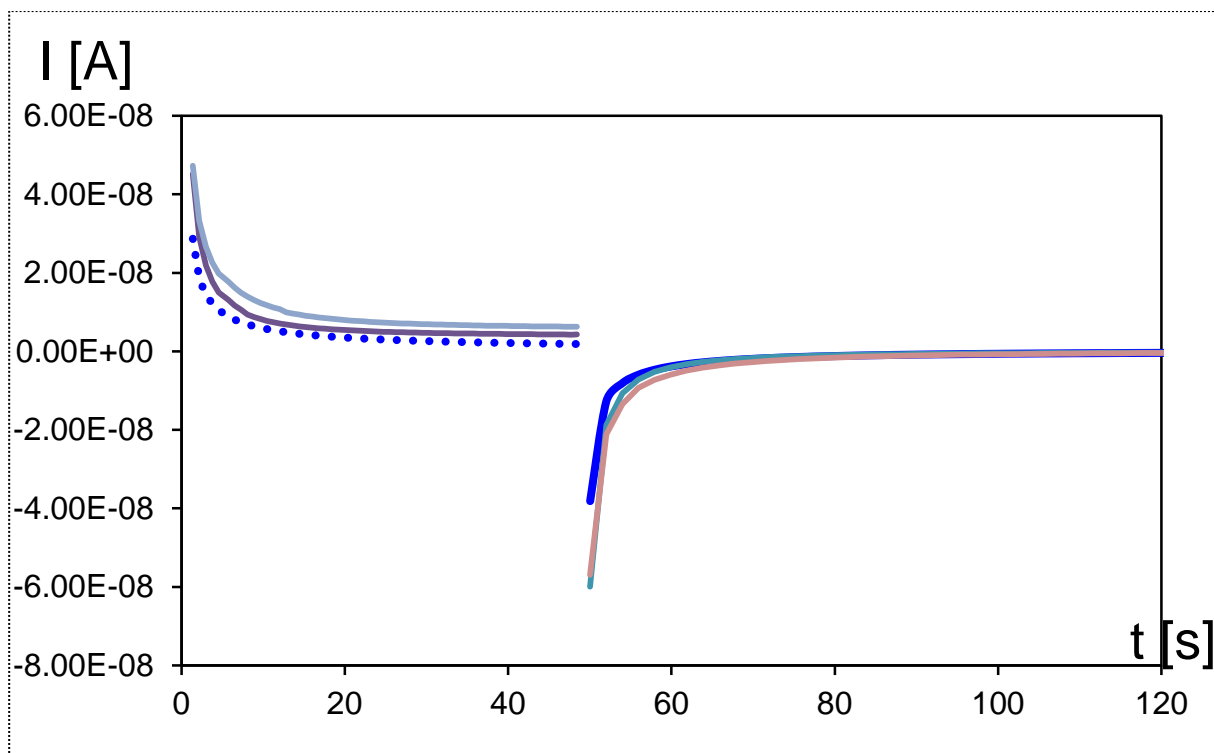
Obrázek 7-27 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 40°C hmoty Synpo



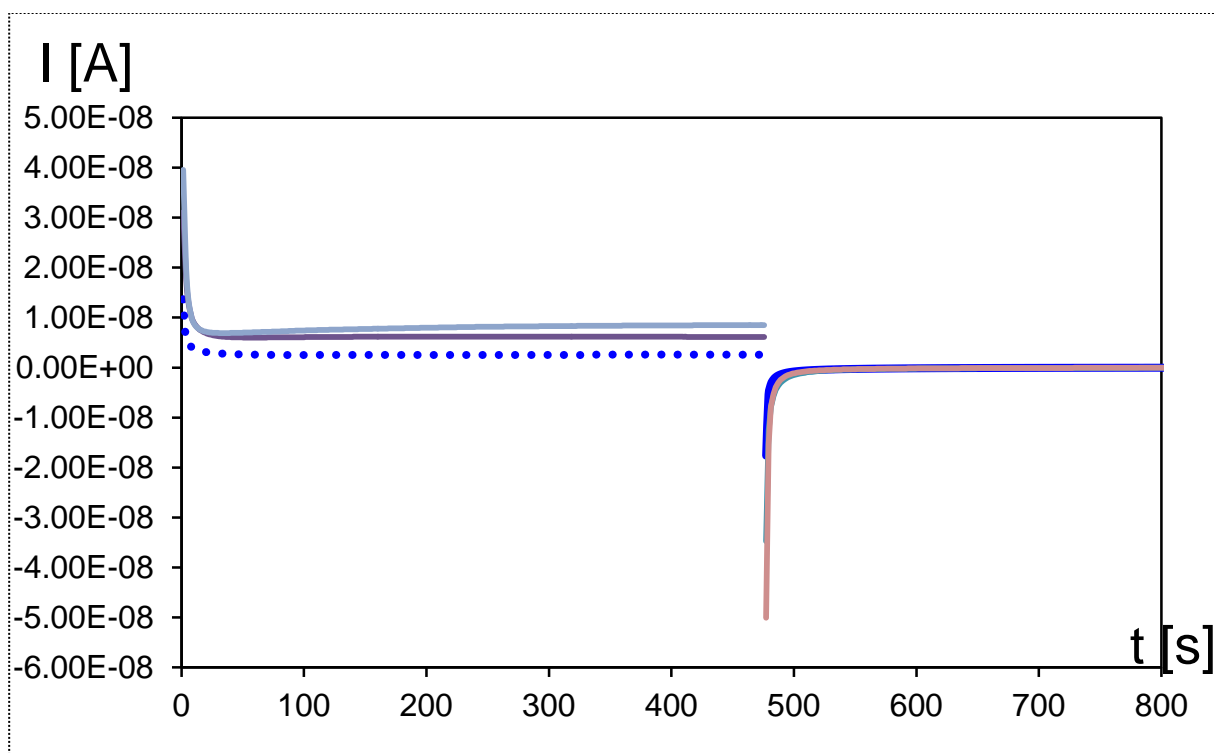
Obrázek 7-28 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 40°C hmoty Standart



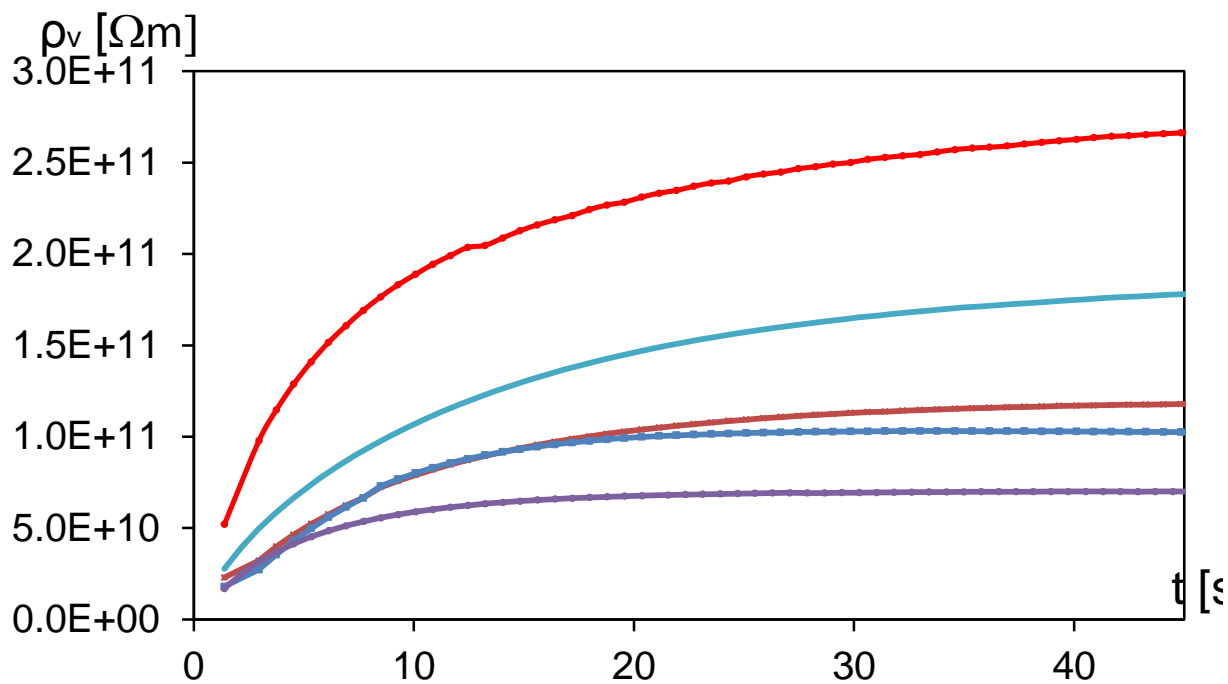
Obrázek 7-29 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 40°C hmoty Standart



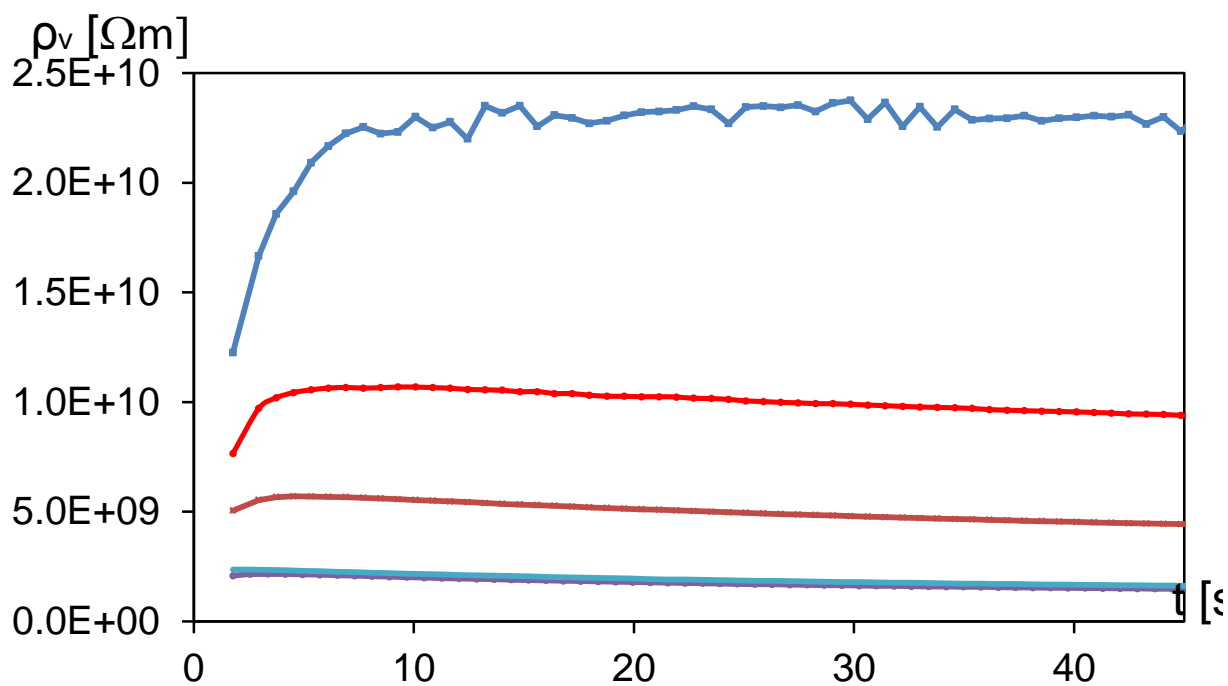
Obrázek 7-30 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 40°C hmoty Synpo



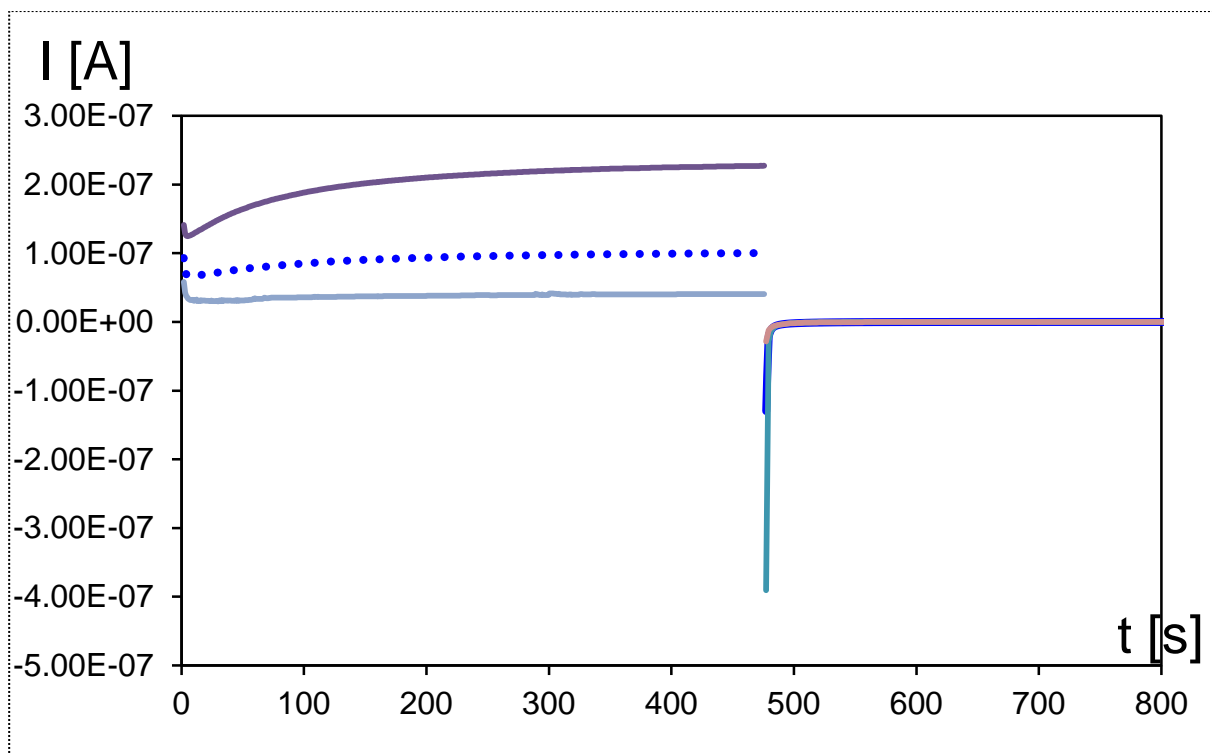
Obrázek 7-31 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 40°C hmoty Synpo



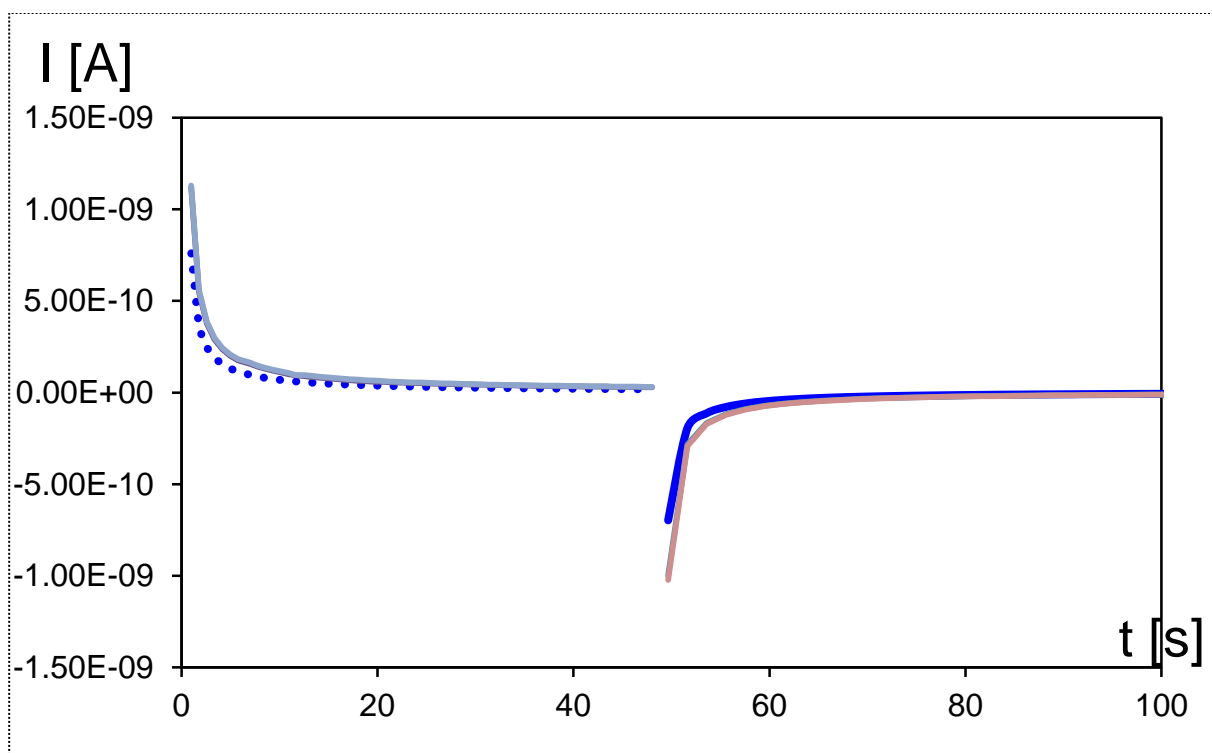
Obrázek 7-32 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 40°C hmoty Standart



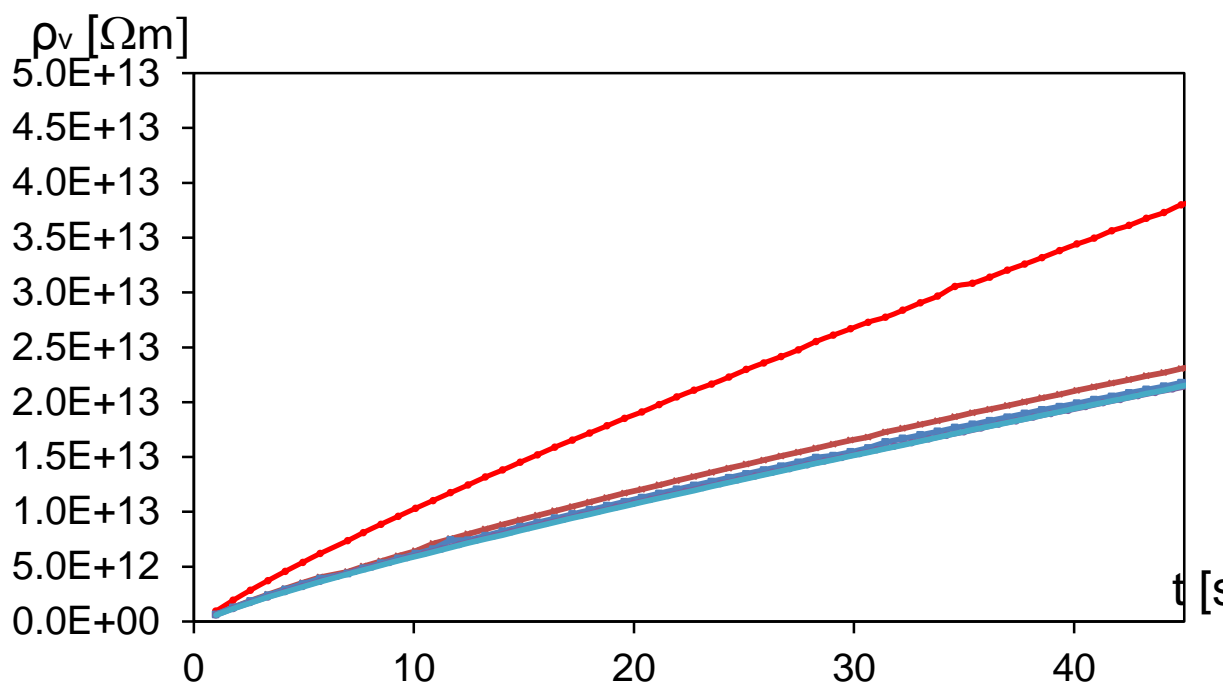
Obrázek 7-33 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 40°C hmoty Standart



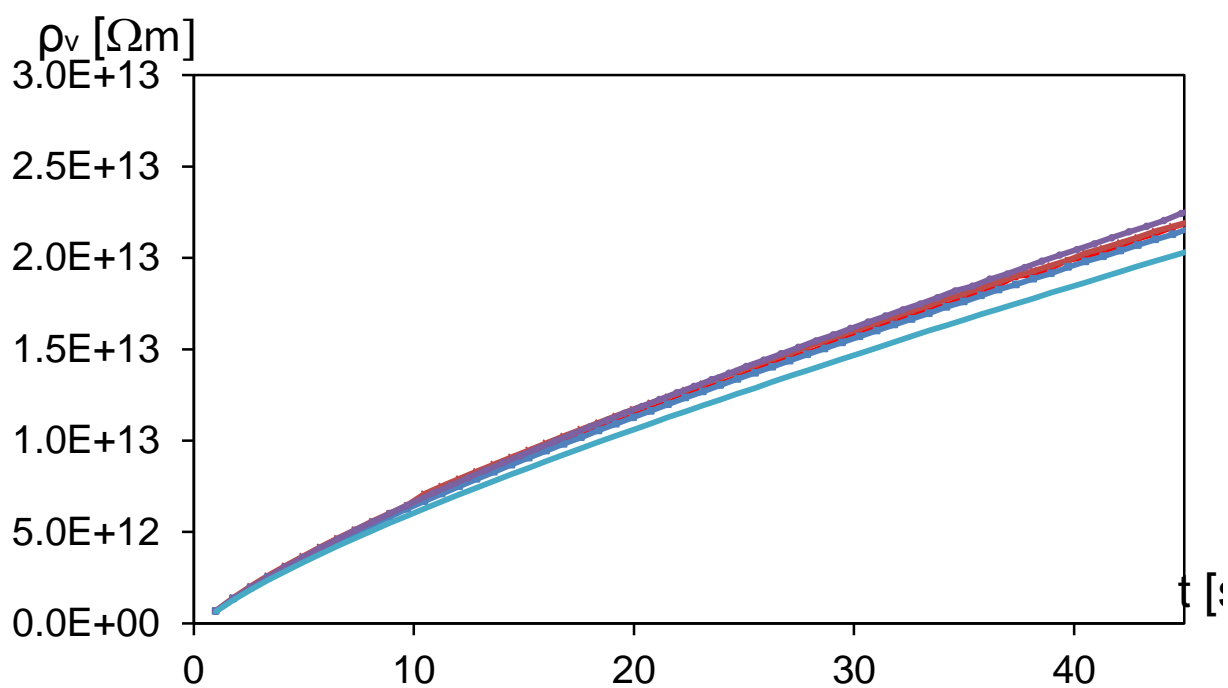
Obrázek 7-34 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 60°C hmoty Synpo



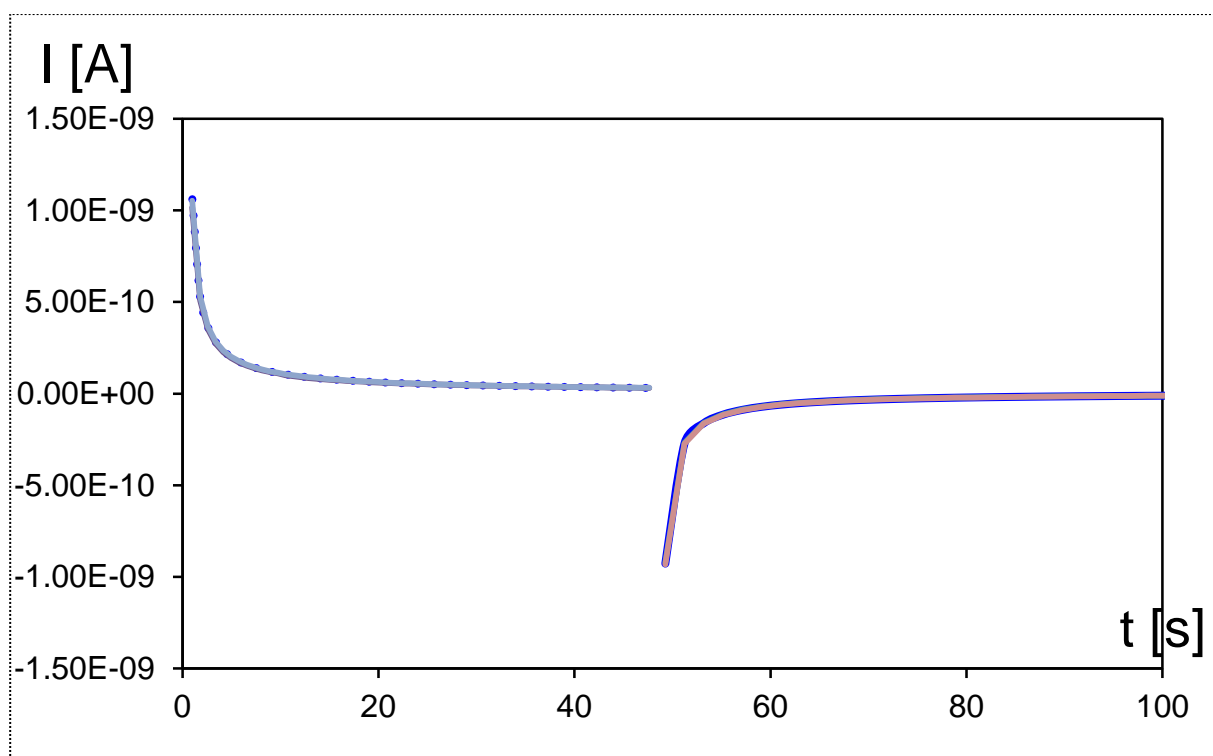
Obrázek 7-35 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 60°C hmoty Synpo



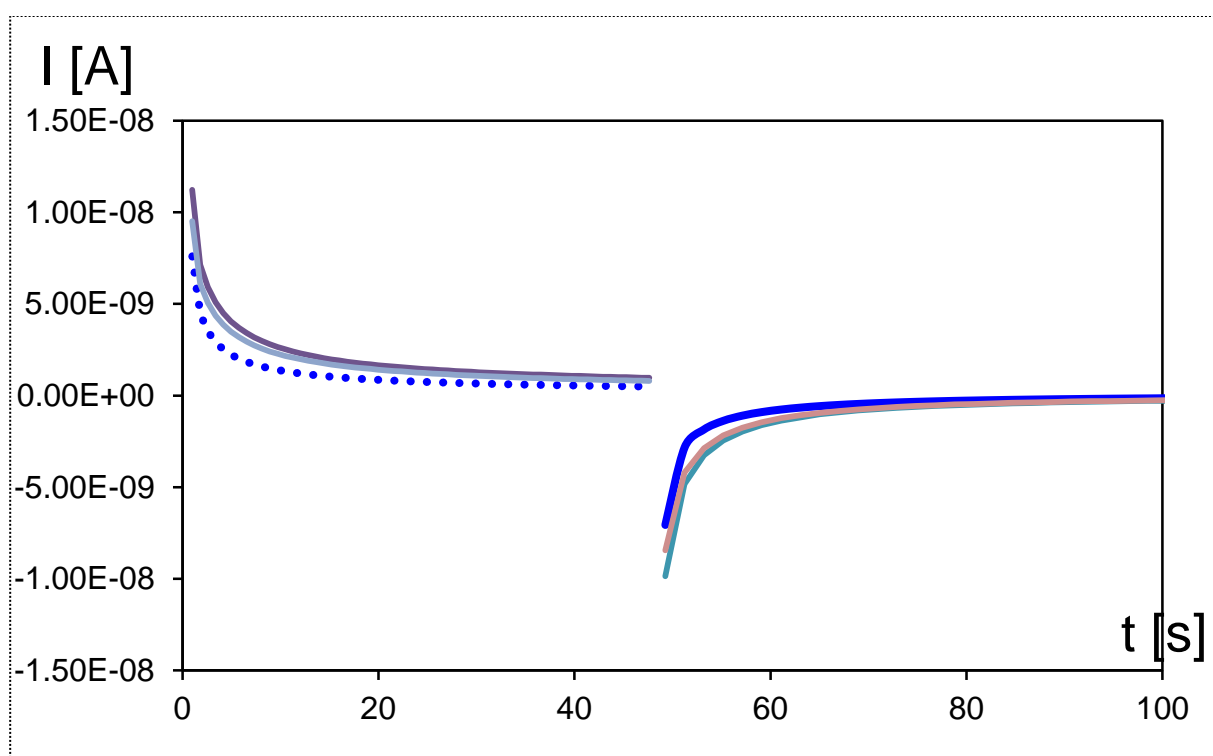
Obrázek 7-36 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 60°C hmoty Standart



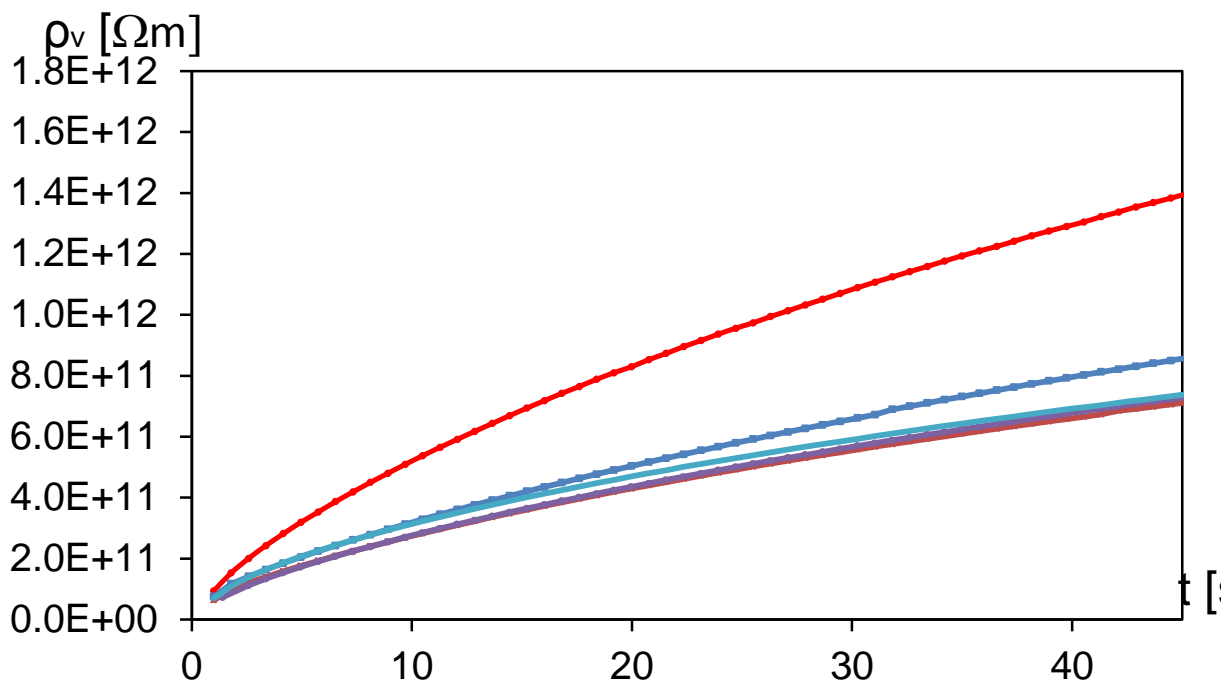
Obrázek 7-37 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 40% a teplotě 60°C hmoty Standart



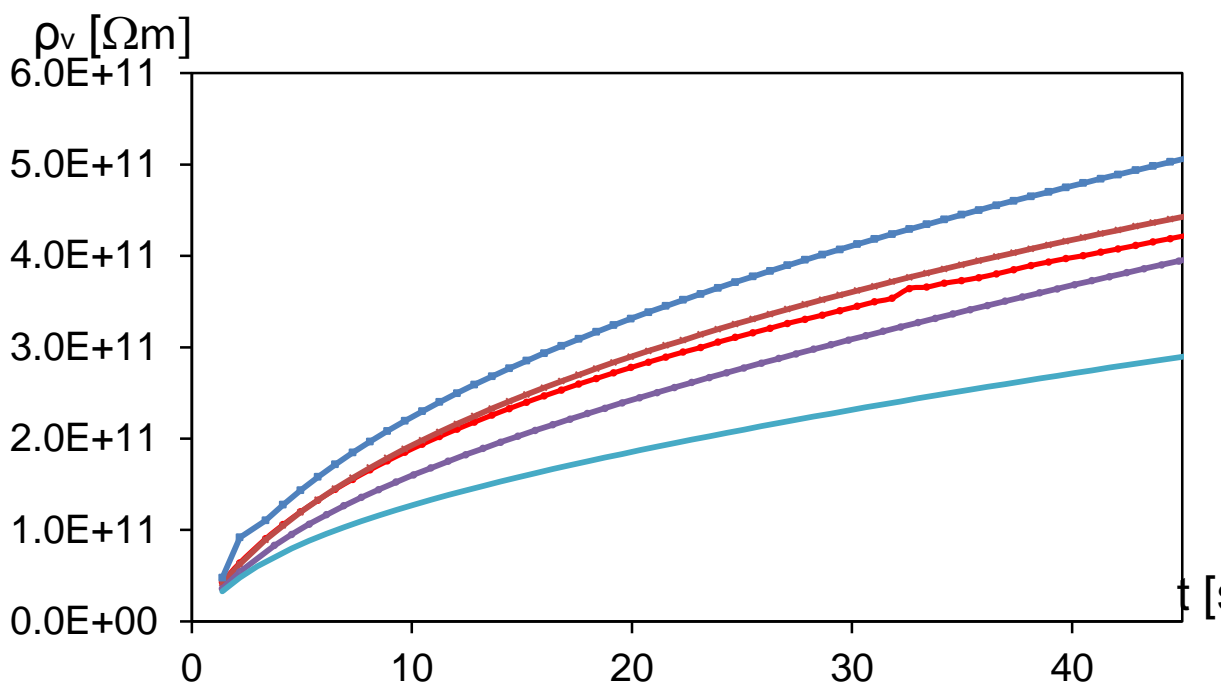
Obrázek 7-38 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 60°C hmoty Synpo



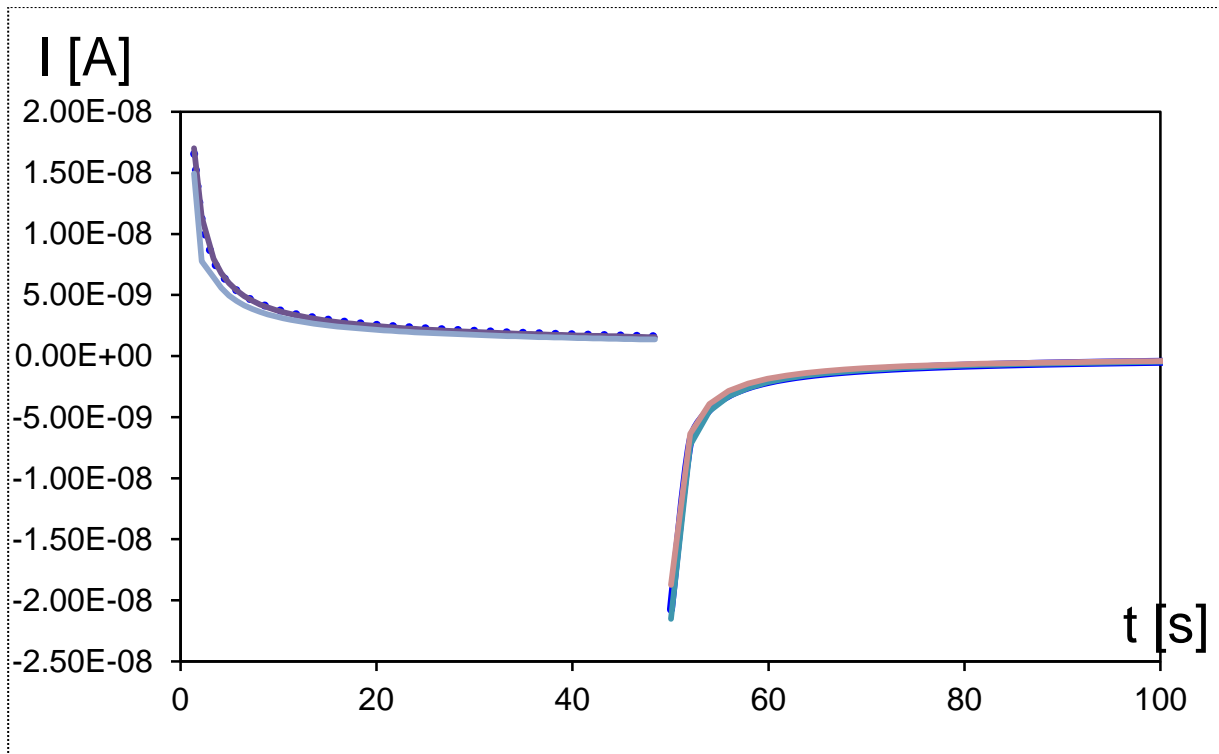
Obrázek 7-39 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 60°C hmoty Synpo



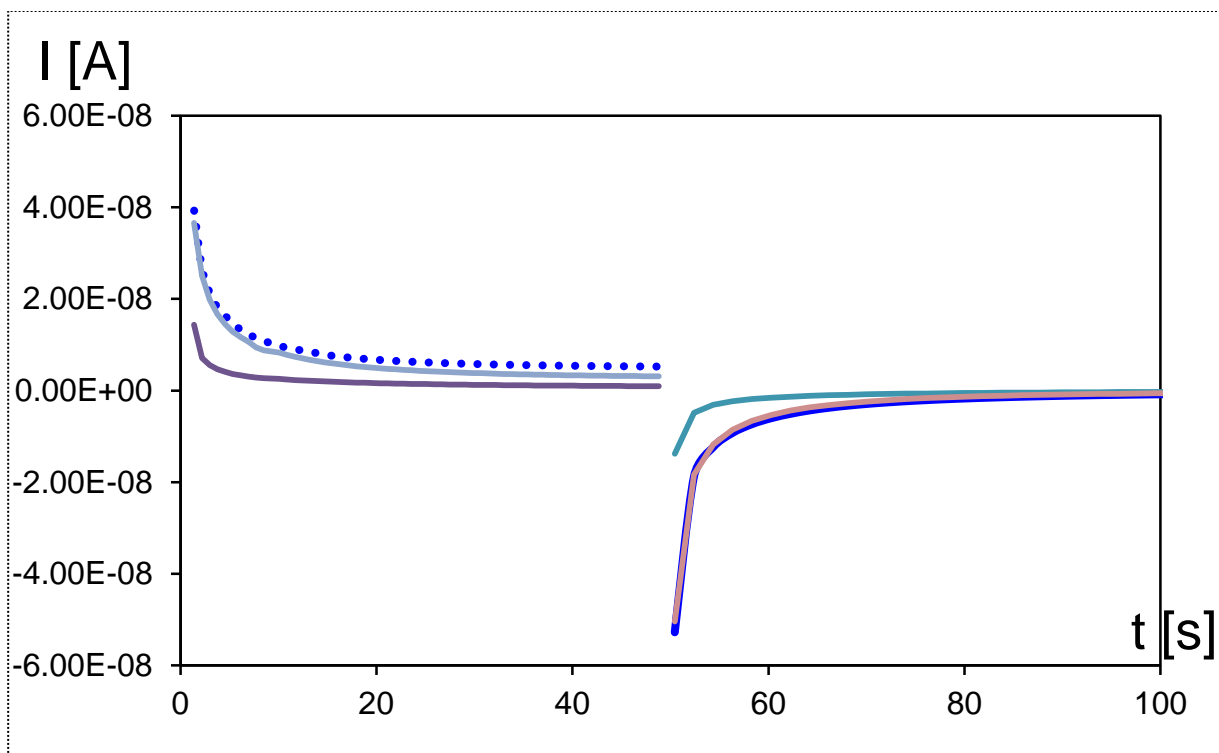
Obrázek 7-40 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 60°C hmoty Standart



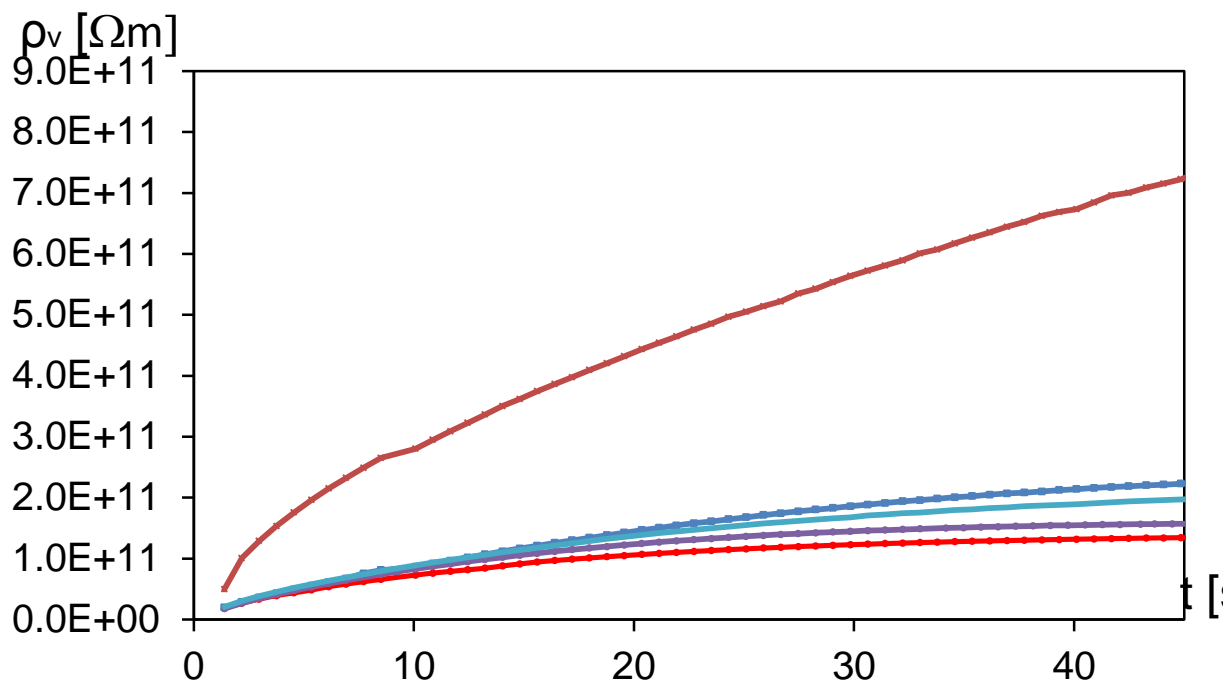
Obrázek 7-41 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 50% a teplotě 60°C hmoty Standart



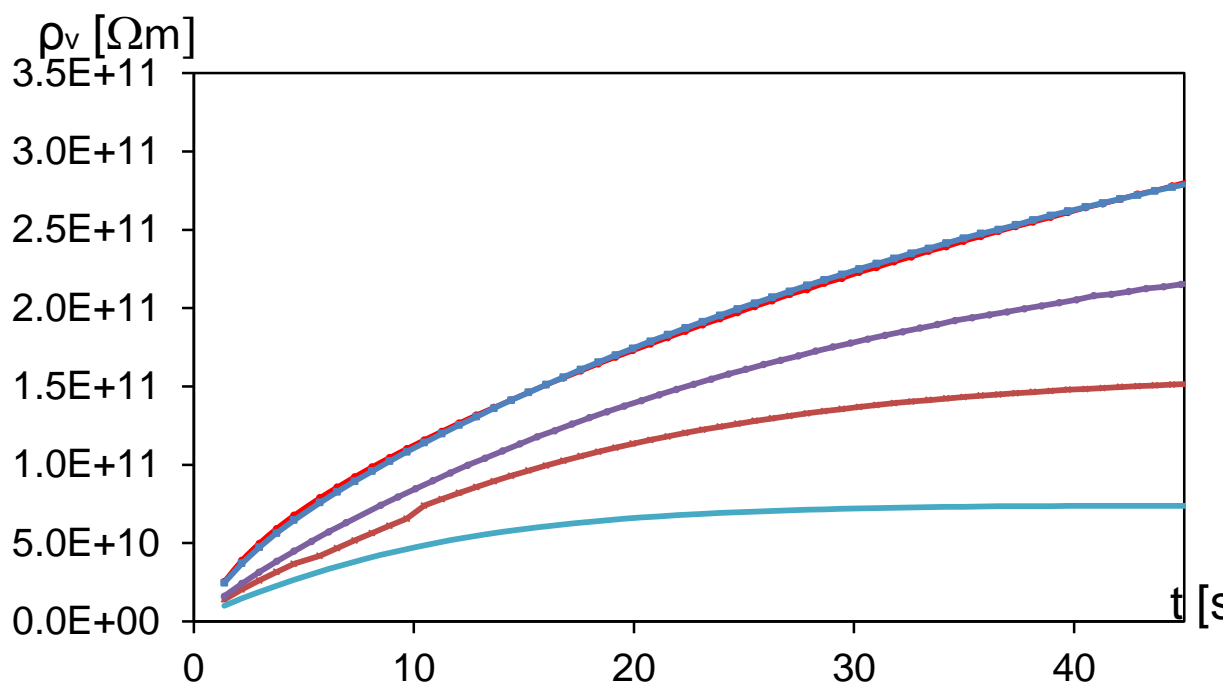
Obrázek 7-42 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 60°C hmoty Synpo



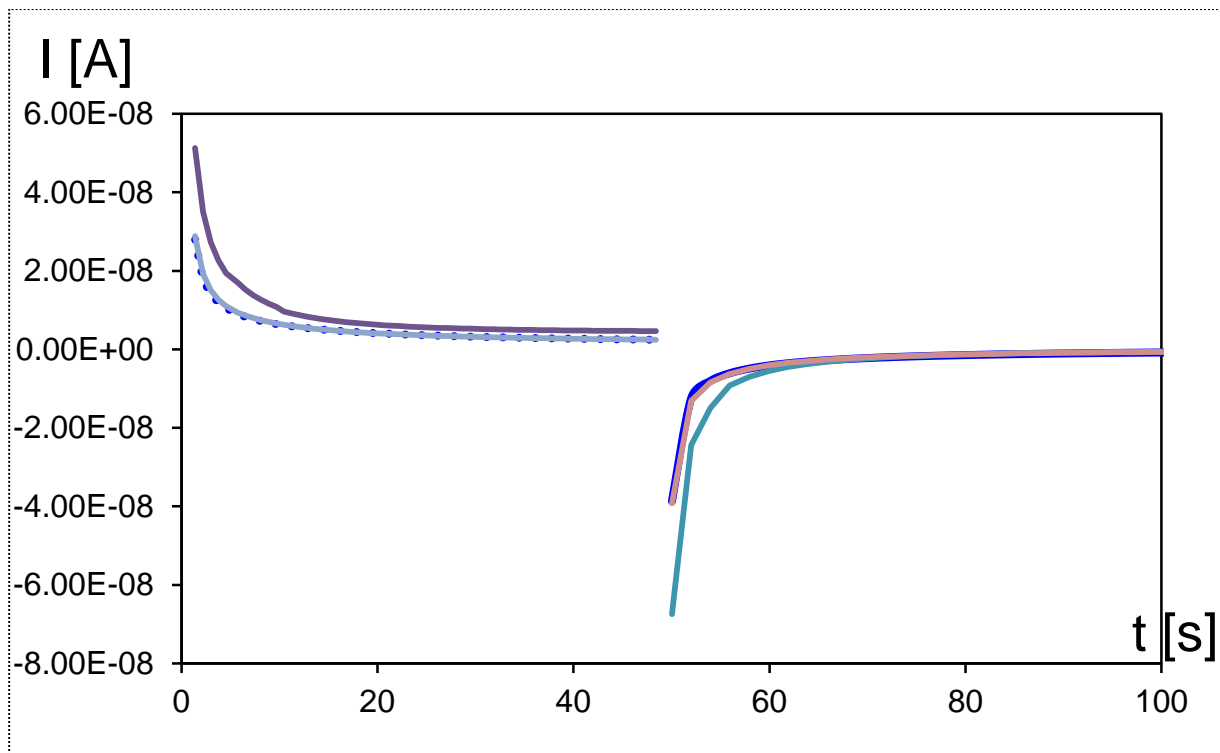
Obrázek 7-43 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 60°C hmoty Synpo



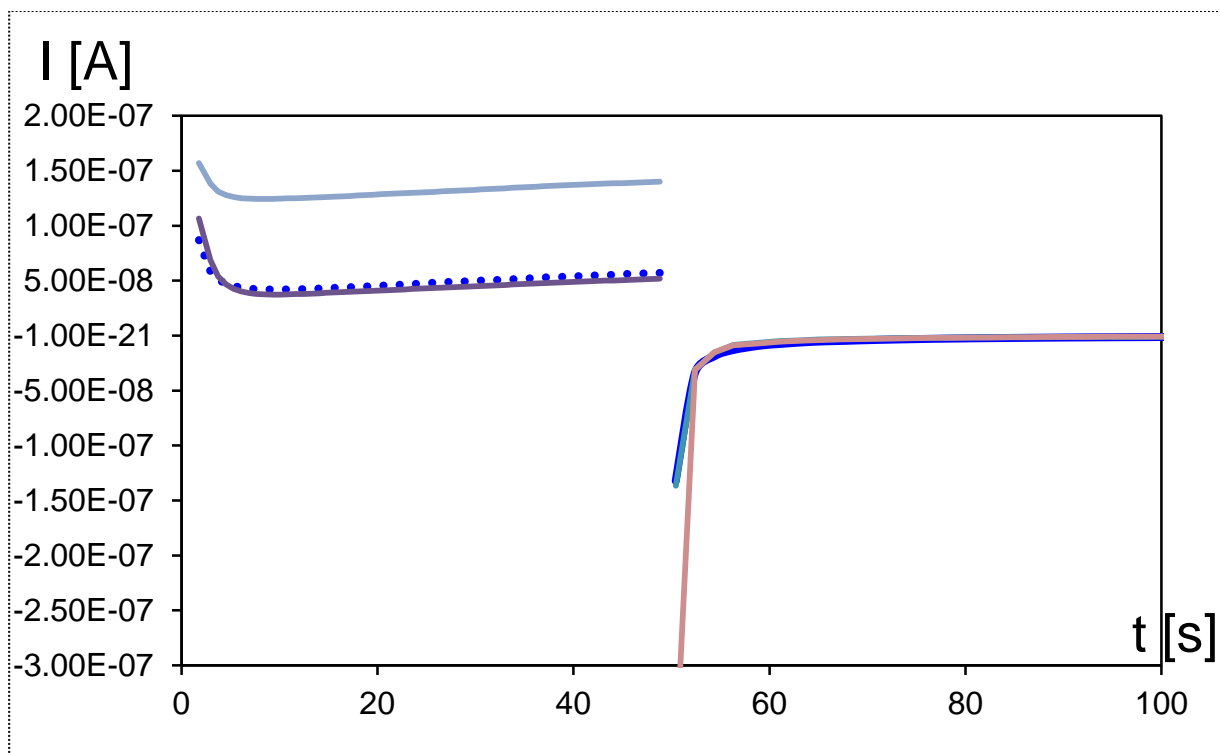
Obrázek 7-44 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 60°C hmoty Standart



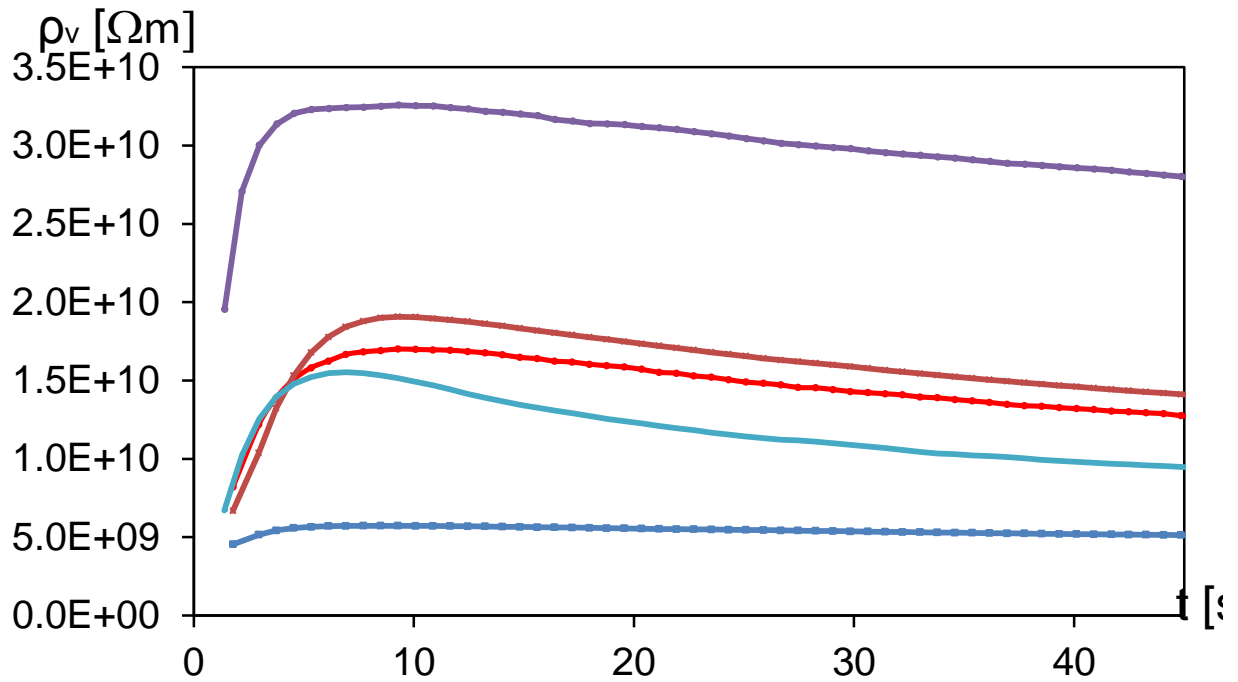
Obrázek 7-45 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 75% a teplotě 60°C hmoty Standart



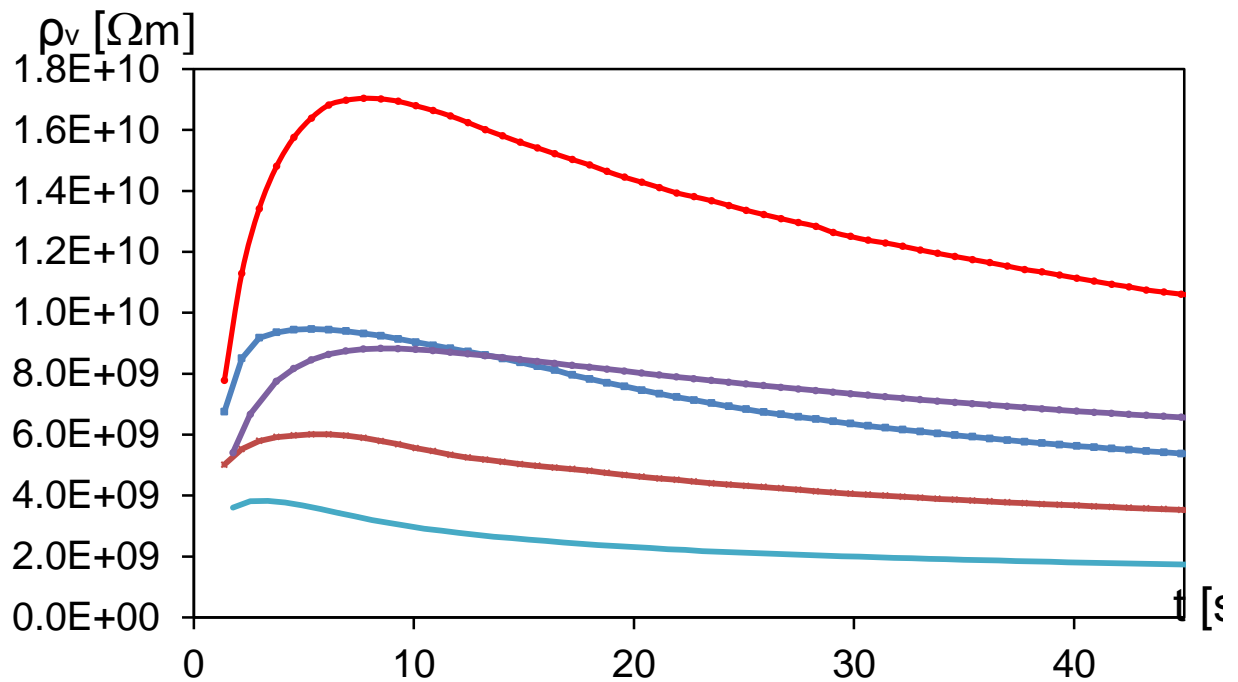
Obrázek 7-46 Porovnání I_{nab} , I_{vyb} při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 60°C hmoty Synpo



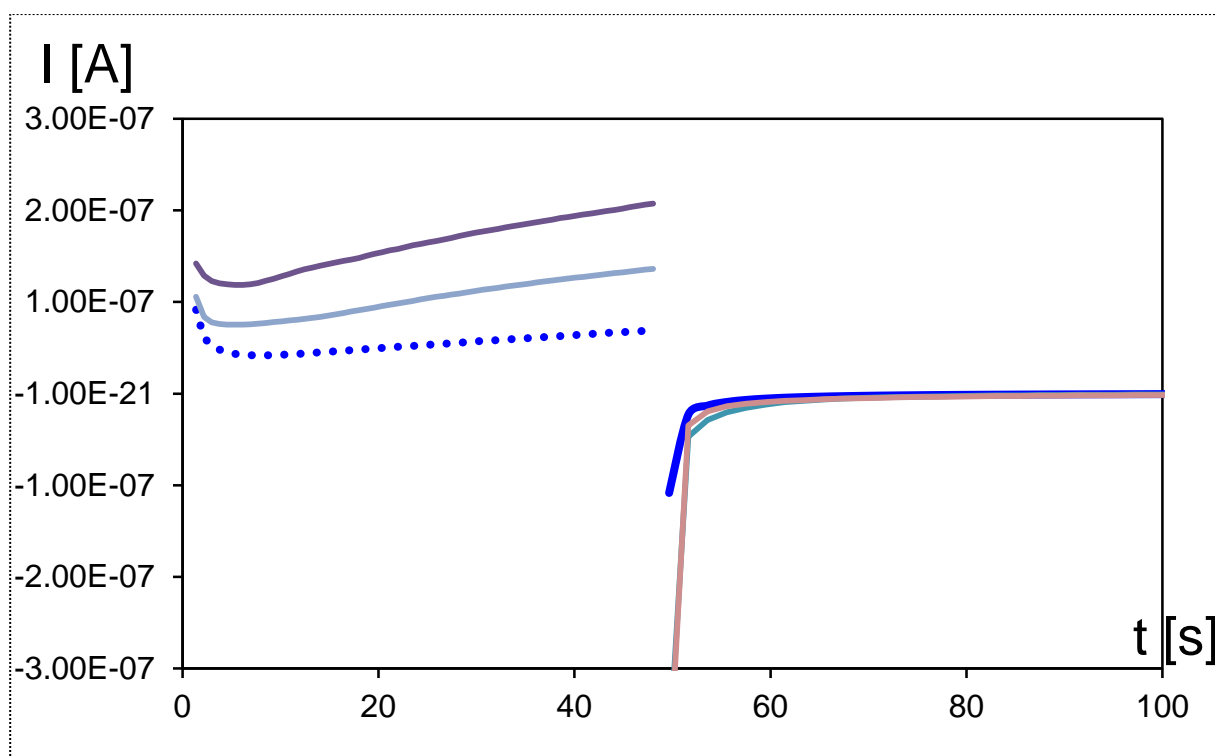
Obrázek 7-47 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 60°C hmoty Synpo



Obrázek 7-48 Porovnání ρ_v při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 60°C hmoty Standart



Obrázek 7-49 Porovnání Inab, Ivyb při vlhkosti vzorků 93% a teplotě 60°C hmoty Standart



Obrázek 7-50 Tabulka vypočítaných hodnot pro Standartní hmotu při 23°C a 50% relativní vlhkosti

CY 238-1 hmota – vzorky v původním stavu						
Vzorek	R_v [Ω]	R_p [Ω]	h [m]	ρ_v [Ωm]	ρ_p [Ω]	t [$^{\circ}\text{C}$]
1	3,36E+12	5,68E+14	1,97E-03	4,82E+12	1,07E+16	23±2
2	1,32E+13	1,74E+15	1,95E-03	1,91E+13	3,28E+16	
3	2,47E+13	9,95E+14	1,97E-03	3,54E+13	1,88E+16	
4	3,19E+13	7,77E+14	1,98E-03	4,55E+13	1,46E+16	
5	2,39E+13	9,51E+14	1,97E-03	3,43E+13	1,79E+16	

Obrázek 7-51 Tabulka vypočítaných hodnot pro Synpo hmotu při 23°C a 50% relativní vlhkosti

SYNPO hmota – vzorky v původním stavu						
Vzorek	R_v [Ω]	R_p [Ω]	h [m]	ρ_v [Ωm]	ρ_p [Ω]	t [$^{\circ}\text{C}$]
1	7,08E+12	1,68E+13	1,98E-03	1,01E+13	3,17E+14	23±2
2	9,06E+12	1,97E+13	1,97E-03	1,30E+13	3,71E+14	
3	2,59E+13	7,68E+13	1,98E-03	3,70E+13	1,45E+15	
4	1,48E+13	1,69E+13	1,95E-03	2,14E+13	3,19E+14	
5	1,35E+13	1,86E+15	1,97E-03	1,93E+13	3,51E+16	

Obrázek 7-52 Vypočítané koeficienty mocninné funkce proudu při 23°C a 50%RH

CY238-1 hmota – vzorky v původním stavu					
Vzorek	1	2	3	4	5
$A [A \cdot s^{-1}]$	4,84E-09	7,65E-09	3,58E-09	3,84E-09	4,84E-09
$n [-]$	9,65E-01	8,57E-01	8,07E-01	8,88E-01	8,80E-01

SYNPO hmota – vzorky v původním stavu					
Vzorek	1	2	3	4	5
$A [A \cdot s^{-1}]$	7,61E-09	7,14E-09	5,21E-09	5,70E-09	3,89E-09
$n [-]$	7,15E-01	7,61E-01	9,29E-01	8,19E-01	6,81E-01