

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových
inženýrských studií

Měřicí systémy pro studium fermentačních procesů

Zpracování plodiny amarant

DISERTAČNÍ PRÁCE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových
inženýrských studií

Měřicí systémy pro studium fermentačních procesů Zpracování plodiny amarant

Ing. Jiří Jelínek

Studijní program: P 2612 Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 3901V025 Přírodovědné inženýrství

Pracoviště: Katedra měření

Fakulta mechatroniky a mezioborových
inženýrských studií

Technická univerzita v Liberci
Hájkova 6, 461 17 LIBEREC 1

Školitel: Doc. Ing. Miroslav Svoboda

Rozsah disertační práce

Počet stran: 144

Počet obrázků: 72

Počet tabulek: 8

Rozsah příloh disertační práce

Počet stran: 16

Počet obrázků: 6

Počet tabulek: 2

Abstrakt

Měřicí systémy pro studium fermentačních procesů Zpracování plodiny amarant

Ing. Jiří Jelínek

Evropské zemědělství je založeno na několika druzích obilovin (pšenice, ječmen, žito, oves) a dalších významných plodin (brambor, rýže, kukuřice). Z Jižní Ameriky v posledních letech proniká do Evropy rostlina amarant a postupně se stává zemědělskou plodinou. Některé výrobní postupy zpracování amarantu jsou často ve stádiích testů a výzkumných úkolů.

Pro využití amarantu a nových produktů vycházejících z amarantových surovin nelze vycházet jen z analytických stanovení obsahu jednotlivých látek. Pro řadu hodnocení byla volena metoda srovnávání s produkty z běžně užívaných plodin.

Cílem práce je zmapovat možnosti využití amarantu a měřením zdokumentovat specifické vlastnosti experimentálně vyráběných produktů.

Přínosem disertační práce je nově navržený postup výroby přípravku s vysokým obsahem bílkovin. Součástí práce je sestavení měřicích systémů pro dávkové a kontinuální měření fermentačních procesů, výroba laboratorního vybavení a návrh a tvorba hardware a software pro snadné porovnávání experimentálních dat.

Téma práce vychází z řešení dílčích etap projektů výzkumu a vývoje Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky B–C3/10/00 „Frakcionace amarantu a využití jeho aktivně zušlechtěných složek ke zlepšení výživy a zdraví populace“, FD–K2/73 „Komplexní využití biomasy amarantu“ a FI–IM/101 „Získávání bílkovin z netradičních zdrojů“ Univerzitou Hradec Králové a Univerzitou Karlovou, lékařskou fakultou v Hradci Králové.

V disertační práci prezentovaný princip měření a postup výroby přípravku s vysokým obsahem bílkovin byl podán k patentovému řízení a v současnosti je testována průmyslová výroba.

Klíčová slova: amarant, vláknina, mouka, škrob, cukr, bílkovina, fermentace
fyzikálně–chemické, měření, software

Abstract

Measuring systems for fermentative processes study Amaranth Processing and Utilization

Jiří Jelínek, MSc.

European agriculture is based on a few sorts of crop-plants (wheat, barley, rye, oat) and other important farm plants (potatoes, rice, maize). Lately there is a new kind of farm plant coming from South America to Europe and it is becoming more and more significant for European agriculture. This “new” plant is called Amaranth and its manufacturing is still in process.

There is a difficulty in assessing qualities of amaranth raw material. The pure analysis of every single component is not sufficient for amaranth processing. There was particularly used a method of comparing with well known and commonly used crop-plants to describe amaranth mass.

The object of our effort is to map possibilities of amaranth utilization and prove the specific qualities of amaranth products that are now in development.

This Dissertation thesis brings a newly designed way of preparation of high-protein nourishment. The integral part of this work is a composition of measuring systems in batch and continual mode for fermentative processes, development of laboratory device and designing of hardware and software for easy experiment-data assessment.

The theme of the thesis result from solving of partial phases of research project and development of Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic B-C3/10/00 “Amaranth fractionation and use of its actively refine-able components for improving of public nutrition and health”, FD-K2/73 “Complex amaranth biomass utilization” and FI-IM/101 “Alternative sources of proteins” provided by University of Hradec Králové and Faculty of Medicine of the Charles University.

Presented principle of measurement and production procedure of product with high content of protein was brought to patent-board and in present the industry production is tested.

Keywords: amaranth, fibre, flour, starch, sugar, protein, fermentation, physical-chemical, measurement, software

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou disertační práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé disertační práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své disertační práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem Technické univerzity v Liberci, která má právo požadovat ode mne přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Disertační práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury, pod vedením školitele.

V Liberci 19. 10. 2006

.....
Ing. Jiří Jelínek

Poděkování

V první řadě patří mé poděkování školiteli Doc. Ing. Miroslavu Svobodovi za vedení a podporu v průběhu studia. Cennými radami přispěl též kolektiv spolupracovníků Fakulty mechatroniky a mezipředmětových inženýrských studií. Mé poděkování patří též Ing. Lidmile Hyšplerové a kolektivu spolupracovníků Univerzity Hradec Králové.

Děkuji kolektivu řešitelů grantů FD–K2/73, FI–IM/101 Ministerstva průmyslu a obchodu a pracovníkům firmy AMR AMARANTH a.s. zabývajících se novými potravinářskými technologiemi.

Za zázemí, jazykovou korekturu a morální podporu děkuji svým blízkým a mé rodině.

Obsah

Seznam použitých symbolů	6
Seznam použitých zkratk	7
Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	11
Úvod	12
1 Přehled současného stavu a cíle disertační práce	14
1.1 Pěstování a technologie zpracování amarantu	15
1.2 Současné laboratorní prostředky	16
1.3 Řešené problémy	17
1.3.1 Fermentace amarantové vlákniny a amarantové mouky	17
1.3.2 Technologie zpracování amarantu	17
1.3.3 Laboratorní systémy pro studium fermentačních procesů	18
1.4 Cíle disertační práce	19
2 Plodina Amarant	20
2.1 Stručná charakteristika	20
2.2 Pěstování amarantu	21
2.3 Historie pěstování amarantu	24
2.4 Využití amarantu pro potravinářské účely	25
2.4.1 Popisná charakteristika	25
2.4.2 Složení zrna amarantu	26
2.4.3 Funkční potraviny	30
2.4.4 Racionální výživa	30
2.4.5 Potraviny z amarantu	31
2.5 Využití amarantu pro energetické účely	32
2.5.1 Obnovitelné zdroje energie	32
2.5.2 Problém globálního oteplování Země	33
2.5.3 Druhy obnovitelných zdrojů energie a jejich dostupnost	34
2.5.4 Biomasa	36
2.5.5 Biomasa z amarantu	37
2.5.6 Způsoby energetického využití biomasy	37
2.5.7 Anaerobní a aerobní fermentace	40
2.5.8 Alkoholová fermentace	40
2.5.9 Spalování biomasy	41

3	Měřicí systémy a biochemické fermentační procesy	42
3.1	Parametry ovlivňující fermentační procesy	42
3.1.1	Vliv teploty na anaerobní fermentaci	42
3.1.2	Acidita a alkalita při fermentačních procesech	42
3.1.3	Redox potenciál a fermentační procesy	45
3.1.4	Hustota substrátů	45
3.1.5	Vliv organických látek	46
3.1.6	Obsah nižších mastných kyselin	47
3.1.7	Tlumicí kapacita substrátu	48
3.1.8	Složení bioplynu	49
3.2	Kinetika biochemických procesů	51
3.2.1	Hlavní procesy anaerobního rozkladu	51
3.2.2	Produkce metanu	52
3.2.3	Modelování fermentačního procesu	53
3.3	Metody měření fyzikálně chemických veličin	58
3.3.1	Měření teploty	58
3.3.2	Měření pH a oxidačně redukčního potenciálu	61
3.3.3	Měření elektrické vodivosti roztoků	63
3.3.4	Absorbční spektrofotometrie	65
3.4	Způsoby komunikace měřicích přístrojů s počítačem	70
3.4.1	Rozhraní RS 232	70
3.4.2	Rozhraní RS 422	72
3.4.3	Rozhraní RS 485	72
3.4.4	Rozhraní USB	73
3.4.5	Rozhraní IEEE 1394	75
3.4.6	Paralelní rozhraní PC	75
3.4.7	Rozhraní IEEE 488	76
4	Dávkové měření fermentačních procesů	77
4.1	Charakteristika problematiky	77
4.2	Návrh měřicího systému	77
4.2.1	Způsoby realizace	77
4.2.2	Realizovaný měřicí systém	78

4.3	Měřicí přístroje	80
4.3.1	Orion pH Meter 420A	80
4.3.2	Orion Conductivity Meter 150	82
4.3.3	Unicam Helios Gama Spectrometer	84
4.4	Vývoj programu	86
4.4.1	Volba vývojového prostředí	86
4.4.2	Struktura navrženého programu	88
4.5	Ověření funkčnosti měřicího systému	89
4.5.1	Testování během vývoje programu	89
4.5.2	Testování v laboratoři Univerzity Hradec Králové	90
4.6	Fyzikálně chemické veličiny a aktivita enzymů	92
4.6.1	Enzym ke ztekucení škrobu BAN480L	92
4.6.2	Enzym ke zcukření škrobu AMG 300L	94
4.6.3	Enzym k rozkladu vyšších polysacharidů Celluclast 1.5L	95
5	Kontinuální měření fermentačních procesů	97
5.1	Charakteristika problematiky	97
5.2	Požadavky vyplývající z projektu FD-K2/73	97
5.3	Hardwarová část měřicího systému fermentorů	98
5.3.1	Základní návrh měřicího systému	98
5.3.2	Problematika současného měření fyzikálně chemických veličin	98
5.3.3	Uspořádání měřicího systému fermentorů	99
5.3.4	Inteligentní senzory fyzikálně chemických veličin	100
5.3.5	XBC interface	102
5.3.6	Kontinuální měření množství bioplynu	107
5.3.7	Kumulativní měření množství bioplynu	111
5.3.8	Analýza složení bioplynu	111
5.3.9	Vyhřívání fermentorů	113
5.4	Softwarová část měřicího systému fermentorů	114
5.4.1	Volba vývojového prostředí	114
5.4.2	Struktura software měřicího systému	144
5.4.3	XBC Magic	115
5.4.4	XBC Graph	116
5.4.5	Síťová komunikace a příklady použití měřicího software XBC	118

5.5	Realizace měřicího systému fermentorů	120
5.5.1	Použitý software	120
5.5.2	Nádoba fermentoru	120
5.5.3	Víko fermentoru	121
5.5.4	Elektronická část a ohřev fermentoru	121
5.6	Fermentace přípravků z amarantové vlákniny	123
5.6.1	Vláknina v potravinách	123
5.6.2	Laktulóza	124
5.6.3	Anaerobní fermentace	124
5.6.4	Přípravky z amarantové vlákniny a parametry měření	124
5.6.5	Porovnání přípravku Amaranthfibre® a laktulózy	125
5.6.6	Porovnání přípravku Amaranthfibre-herb+Ca® a laktulózy	126
5.6.7	Zhodnocení výsledků kontinuálního měření	127
6	Zpracování plodiny amarant	128
6.1	Charakteristika problematiky	128
6.2	Extrakce amarantové bílkoviny	128
6.2.1	Způsob extrakce amarantové bílkoviny	128
6.2.2	Laboratorní ověření kvality extrakce amarantové bílkoviny	129
6.3	Komplexní zpracování amarantového zrna	129
6.3.1	Postup zpracování amarantového zrna	129
6.3.2	Laboratorní měření získané bílkovinné směsi	129
6.4	Orientační stanovení glykemického indexu	130
6.4.1	Glykemický index potravin	131
6.4.2	Degradace škrobů před extrakcí amarantové bílkoviny	131
6.4.3	Měření rychlosti degradace škrobů systémem dvou fermentorů ..	131
6.4.4	Degradace škrobu z amarantové a z pšeničné mouky	132
6.4.5	Degradace škrobu amarantového popu a pšeničné mouky	133
6.4.6	Zpracování výsledků měření koncentrací glukózy	134
6.4.7	Zhodnocení výsledků měření rychlosti degradace škrobů	135
	Závěr a přínosy disertační práce	136
	Literatura	138
	Přílohy disertační práce	145

Seznam příloh	146
A Přihláška vynálezu PV 2006–130	147
A.1 Anotace	147
A.2 Oblast techniky	147
A.3 Dosavadní stav techniky	147
A.4 Podstata vynálezu	148
A.5 Příklady provedení vynálezu	148
A.6 Patentové nároky	150
A.7 Podání přihlášky vynálezu	151
B Přihláška vynálezu PV 2006–156	152
B.1 Anotace	152
B.2 Oblast techniky	152
B.3 Dosavadní stav techniky	152
B.4 Podstata vynálezu	153
B.5 Příklady provedení vynálezu	154
B.6 Příklad zařízení sestaveného podle vynálezu	155
B.7 Patentové nároky	157
B.8 Podání přihlášky vynálezu	158
C Sestava fermentorů pro kontinuální měření	159
C.1 Modelové vyobrazení fermentoru	159
C.2 Realizovaná sestava fermentorů	160
D Dodatek k rozhraní TIA/EIA 232 F	161
D.1 Signály a zapojení konektorů	162
D.2 Význam signálů rozhraní	163
Přílohy v elektronické formě	CD

Seznam použitých symbolů

c	mol/l	sloupcový vektor koncentrací
c_0	mol/l	vektor počátečních koncentrací
c_A	mol/l	koncentrace výchozí látky A
c_B	mol/l	koncentrace meziproduktu B
c_C	mol/l	koncentrace meziproduktu C
c_D	mol/l	koncentrace meziproduktu D
c_E	mol/l	koncentrace konečného produktu
c_{A0}	mol/l	počáteční koncentrace látky A
c_{B0}	mol/l	počáteční koncentrace látky B
c_{C0}	mol/l	počáteční koncentrace látky C
c_{D0}	mol/l	počáteční koncentrace látky D
c_{E0}	mol/l	počáteční koncentrace látky E
c_M	mol/l, cm ³ /l	koncentrace metanu (k VSS)
C_L	1	Laplaceův obraz c
C_{L0}	1	Laplaceův obraz c_0
I	1	jednotková matice
k_1	hod ⁻¹	rychlostní konstanta
k_2	hod ⁻¹	rychlostní konstanta
k_3	hod ⁻¹	rychlostní konstanta
k_4	hod ⁻¹	rychlostní konstanta
s		Laplaceův obraz τ
$\mathcal{G}$	K, °C	termodynamická teplota
t	s, min, hod	čas
τ	s	časová konstanta, čas

Seznam použitých zkratek

CAD	<i>Computer-Aided Eesign</i> – počítačem podporované projektování
CCITT	<i>Comite Consultatif Internationale de Telegraphie et Telephonie</i>
DTE	<i>Data Terminal Equipment</i>
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
EIA	<i>Electronic Industries Alliance</i>
EPROM	<i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
FID	<i>Flame Ionization Detector</i> – plameno ionizační detektor
HP-IB	<i>Hewlett Packard Interface Bus</i>
CHSK	<i>Chemická Spotřeba Kyslíku</i>
CHSKCr	<i>Chemická Spotřeba Kyslíku – Chromanová</i>
ICT	<i>Information and Communications Technology</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
NMR	<i>Nuclear magnetic resonance</i>
PCI	<i>Peripheral Component Interconnect</i> – sběrnice PC
PCMCIA	<i>Personal Computer Memory Cards International Association</i>
PP	<i>PolyPropylén</i>
PTEF	<i>PolyTEtraFluorethylen</i>
PXI	<i>PCI eXtensions for Instrumentation</i> – speciální sběrnice PC
RDA	<i>Recommended Dietary Allowance</i> denní doporučené dávka (živin, vitamínů, minerálů a dalších látek)
RI	<i>Ring Indicator</i> – signálový či napájecí vodič TIA/EIA 232 F
RS	<i>Recomended Standard</i>
SCCM	<i>Standard Cubic Centimeter per Minute</i> odvozená fyzikální jednotka
SSP	<i>synchronní sériový port</i>
TIA	<i>Telecommunications Industry Association</i>
UHT	<i>Ultra-High Temperature processing</i> vysokoteplotní úprava, metoda konzervace potravin, zničení endospor bakterie <i>Clostridium botulinum</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i> univerzální sériové rozhraní, sběrnice používaná v počítačích PC
VEE	<i>Virtual Engineering Enviroment</i>

Seznam obrázků

1	Laskavec zelenoklasý	20
2	Laskavec – okrasná odrůda amarantu (laskavec ocasatý)	21
3	Amarant – zemědělská odrůda (amarant k237)	22
4	Zrno amarantu	23
5	Porovnání % bílkovin amarantu s obilovinami	26
6	Zastoupení esenciálních aminokyselin v bílkovinách amarantu, sóji a pšenici.....	26
7	Porovnání obsahu minerálů v amarantové mouce s obilovinami	27
8	Využívání obnovitelných zdrojů energie v evropských zemích	33
9	Větrné generátory umístěné v areálu malé jaderné elektrárny v Dánsku ...	35
10	Schéma směrů využití fyto-masy	38
11	Blokové schéma procesů probíhajících při výrobě bioetanolu	41
12	Hladiny redoxního potenciálu	45
13	Časová závislost koncentrací výchozí látky, meziproductů a výchozího produktu u čtyřstupňového modelu	57
14	Potenciometrické měření pH	61
15	Blokové schéma pH–metru	62
16	Měření vodivosti	63
17	Elektrický náhradní obvod soustavy elektroda–roztok–elektroda	64
18	Základní uspořádání jednopaprskových přístrojů	66
19	Uspořádání jednopaprskového a dvoupaprskového spektrofotometru	67
20	Kontinuální měření absorbance	68
21	Schéma profesora A.R. Armstronga	69
22	Propojení počítače s měřicím přístrojem	71
23	Propojení dvou počítačů pomocí rozhraní RS 232 a RS 422	72
24	Vstupně výstupní obvody připojené na rozhraní RS 485	72
25	Řez propojovacím kabelem USB	73
26	Zakončovací obvody přístrojů	73

27	Struktura USB	74
28	Struktura software	74
29	Řez propojovacím kabelem IEEE 1394	75
30	Topologie sběrnice HP-IB	76
31	Příklad zapojení měřicího systému	79
32	Unicam Helios Gama Spectrometer	84
33	Blokové schéma programu Measure	88
34	Výpis nastavení	90
35	Grafické uživatelské rozhraní při měření koncentrace roztoku	90
36	Okno programu s výsledky	91
37	Vliv teploty na aktivitu a stabilitu enzymu BAN480L	92
38	Vliv pH na aktivitu a stabilitu enzymu BAN480L	93
39	Vliv sušiny a vápníku na stabilitu enzymu BAN480L	93
40	Vliv teploty na aktivitu a stabilitu enzymu AMG 300L	94
41	Vliv pH na aktivitu a stabilitu enzymu AMG 300L	94
42	Vliv teploty na aktivitu a stabilitu enzymu Celluclast 1.5L	95
43	Vliv pH na aktivitu a stabilitu enzymu Celluclast 1.5L	96
44	Blokové schéma měřicího systému	99
45	Sonda vodivosti	101
46	Plošný spoj XBC interface – vrstva 1, klasická montáž součástek	105
47	Plošný spoj XBC interface – vrstva 2, povrchová montáž SMD	106
48	Princip průtokoměru FMA-1601A	107
49	Membránové čerpadlo Stepdos 03 RC	108
50	Diferenciální tlakoměr SM5852	109
51	Ochranný obvod pro tlakoměr SM5852	110
52	Plošný spoj pro tlakoměr SM5852	110
53	Kumulativní měření množství a složení bioplynu	111
54	Ústrojí plynového chromatografu s kolonou	112

55	Infračervený analyzátor	112
56	Samoregulační topný kabel DEVI-hottwatt	113
57	Blokové schéma programu XBC Magic	115
58	Blokové schéma programu XBC Graph	116
59	XBC Graph – volba způsobu práce s programem	117
60	Blokové schéma hardware a software měřicího systému XBC	118
61	Příklad uspořádání software XBC	119
62	Nádoba fermentoru	120
63	Víko fermentoru	121
64	Testování sestavy fermentorů s čidly	122
65	Instalace topných těles na nádoby fermentorů	122
66	Druhy vláknin v potravinách	123
67	Extrakce amarantové bílkoviny	128
68	GPC vzorku po vodní extrakci a vzorku po degradaci škrobů	129
69	Technologie zpracování amarantového zrna	130
70	GPC vzorku po vodní extrakci a bílkovinného koncentrátu	130
71	Rychlost vzniku glukózy z amarantové mouky a pšeničné mouky	131
72	Rychlost vzniku glukózy z amarantového popu a pšeničné mouky	134

Seznam tabulek

1	Porovnání obsahu minerálů v amarantu a v pšenici	27
2	Procento RDA v 100g amarantového zrna	28
3	Obsah skvalenu v některých olejích	29
4	Technologie zpracování biomasy a jejich produkty	39
5	Druhy a principy teploměrů	58
6	Používané termočlánky a jejich parametry	59
7	Technické parametry měřicí hlavice XB2	100
8	Technické parametry měřicí hlavice XB1	101

Úvod

V posledních letech je stále více pozornosti věnováno potravinářství, vývoji efektivních výrobních postupů, analýze vlastností dílčích produktů a měřicí technice používané v této oblasti. V anglosaských zemích je pro tyto vědní disciplíny používán pojem „food science“. Inspirací moderních způsobů zpracování potravin využívajících poznatků z oblasti biologie a medicíny, jsou zemědělské postupy pocházející z různých částí světa. Všechny potravinářské technologie přirozeně čerpají z obnovitelných přírodních zdrojů. Obnovitelné přírodní zdroje jsou dnes předmětem výzkumů z oblastí energetiky nebo vývoje nových materiálů.

Lidé si odpradáвна uvědomují vliv stravovacích návyků na jejich zdravotní stav, proto se tímto tématem vědci zabývají čím dál víc. Podrobně sledují stále více specifických složek potravin. Dnes je známa i přítomnost živých bakterií v potravě. Na základě dnešních znalostí jsme schopni připravovat potraviny jejichž konzumace napomáhá snižovat riziko vzniku mnoha chronických a infekčních onemocnění. Nové výrobní postupy jsou často vedeny s cílem obohatit sortiment potravin, s cílem podpořit schopnost lidského organismu čelit zvýšené zátěži způsobené rychlým tempem současné doby. Při tvorbě potravin je nutno respektovat kulturní zvyklosti.

V 6. rámcovém programu Evropské unie (EU 6th Framework Programme) je kladen důraz právě na prohloubení znalostí o vlivu výživy a funkčních potravin, na zlepšení kvality života obyvatel Evropské unie – program bezpečné potravin. Je vypisována řada výzkumných projektů na přesné zmapování pochodů trávení a vlivů skladby potravin. Na základě výsledků výzkumů je možné odhalovat rizika a příčiny různých onemocnění, zejména tzv. civilizačních chorob.

Evropské zemědělství je založeno na několika druzích obilovin (pšenice, ječmen, žito, oves) a dalších významných plodin (brambor, rýže, kukuřice). Z Jižní Ameriky v posledních letech proniká do Evropy rostlina amarant a postupně se stává zemědělskou plodinou.

Takzvaně znovu objevená plodina amarant je pro své mimořádné složení a vlastnosti zkoumána v řadě výzkumných pracovišť. Vysoký obsah vlákniny, specifického škrobu a velmi hodnotné bílkoviny řadí amarant do skupiny potravinových zdrojů, jak pro běžné potraviny, tak jako výchozí surovinu pro nové produkty (dietetika, probiotika atp.).

Vývoj nových potravinářských výrobních technologií je motivován tlakem na efektivitu a konkurenceschopnost. Plodina amarant je ve srovnání například s pšenicí prozkoumána a využívána mnohem méně. Některé výrobní postupy jsou často ve stádiích testů. Výzkum potravinářských technologií má ve Výzkumném ústavu potravinářském Praha dlouholetou tradici. Univerzita Hradec Králové v rámci spolupráce na projektech Ministerstva průmyslu a rozvoje realizuje výzkum vedoucí k postupnému využívání amarantu.

Pro využití amarantu a nových produktů vycházejících z amarantových surovin nelze vycházet jen z analytických stanovení obsahu jednotlivých látek. Pro řadu hodnocení byla volena metoda srovnávání s produkty z běžně užívaných plodin. Práce vede k návrhu systému umožňujícího provedení experimentu paralelně na dvou různých surovinách nebo stejné surovině za různých podmínek. Kontinuální sledování fyzikálně–chemických veličin i konečné hodnocení procesu umožňuje vyhodnocovat lépe a přesněji rozdíly v probíhajících reakcích.

1 Přehled současného stavu a cíle disertační práce

Rostlina amarant má slibný ekonomický potenciál hlavně proto, že je zajímavou alternativou řešení problému zvýšení potřeby potravin pro některé země třetího světa. Rozšíření potravinářských technologií založených na využití amarantu je podmíněno ekonomickými bilancemi. Výhodnost pěstování je závislá na podnebí daného území. Některé specifické vlastnosti předurčují plodinu amarant k pěstování i v Evropě.

Zájem o plodinu amarant vyvolala kromě jiného skutečnost, že amarant je plodina přirozeně bezlepková, proto vhodná pro přípravu bezlepkových potravin. Přibližně jedno procento lidí trpí neschopností přijímat v potravě lepek. V současnosti už ale umíme vyrobit mouku, ze které lze zhotovit upravenými recepturami pečivo pro takto vážně postiženou část populace.

Amarant je též využitelný v medicíně. Obsahuje užitečnou vlákninu a olej bohatý na skvalen. V civilizované evropské populaci je poměrně rozšířeným problémem právě nedostatek dietní vlákniny. Jednotlivé části plodiny amarant obsahují vlákninu s rozmanitými vlastnostmi. Problematika druhů vlákniny není v současnosti dostatečně zmapována a je zapotřebí pomocí laboratorních měření vyhodnotit fermentovatelnost vláknin, vyrobených z amarantu.

Dalšími možnostmi využití amarantu jsou například přípravky pro speciální výživu sportovců, přísada do snídanových cereálních směsí či krmivo pro hospodářská zvířata.

Existují zde problémy spočívající v komercializaci amarantu, zejména pro nedostatek experimentálních dat. V oblasti zemědělství je potřeba podrobně prozkoumat např. specifické potřeby rostliny na kvalitu půdy, zvyšování jeho výnosnosti či složení v jednotlivých fázích růstu. V potravinářském průmyslu je třeba směřovat výzkumné a vývojové práce k zajištění skladovatelnosti a funkčnosti amarantu a bílkovinových koncentrátů z něj vyrobených. Hlavní výzvou pro vývoj a výzkum je včlenit amarant do existujících potravinových receptur, modifikovat jeho funkční a výživovou kvalitu a vytvořit nové produkty ze zrna amarantu. Další zajímavou oblastí je energetika a to díky možnosti využití amarantu jako biopaliva na základě vysoké tvorby biomasy. K prosazení výroby a expanzi amarantových produktů je zapotřebí snížit výrobní náklady a vyhnout se produkci odpadů.

1.1 Pěstování a technologie zpracování amarantu

Na základě historických znalostí o využitelnosti amarantu je tato rostlina v posledních desetiletích čím dál více objektem různých výzkumů.

V roce 1981 byl amarant postaven za prioritu výzkumných grantů v programu BOSTID (Board on Science and Technology for International Development) Národní akademie věd/Národního institutu pro výzkum USA. Impulz byl dán Národní akademií věd. V letech 1975–2000 byl výzkum amarantu zařazen do řady národních a mezinárodních programů. Výsledkem je kromě jiného široká publikační činnost výsledků výzkumu.

Problematicke vývoje techniky pěstování, sklizně a užití zrna amarantu se věnují význačná výzkumná zemědělská pracoviště. V USA jsou to Amaranth Institute – Jefferson Institute, Columbia, Missouri, USA a University of Nebraska, USA. V Evropě je to Institute for Crop and Grassland Science, Federal Agricultural Research Centre, Braunschweig, Německo, dále Universität für Bodenkultur (BOKU), Vídeň. Aktuálně působí Danish Institute of Agricultural Sciences (DIAS) Research Centre Flakkebjerg Dánsko jako koordinátor projektu 6 rámcového programu EU „AMARANTH: FUTURE FOOD“. Je to projekt s dobou řešení 40 měsíců, na jehož řešení se podílí 11 řešitelů ze 3 evropských a 3 jihoamerických zemí. Jedenáct nezávislých partnerů zahrnuje výzkumné ústavy, univerzity, firmy a nevládní organizace.

V České republice byl v letech 1992–1996 realizován agrotechnický výzkum Výzkumným ústavem rostlinné výroby v Praze, Výzkumným ústavem potravinářským Praha a Jihočeskou Univerzitou v Českých Budějovicích. Výsledkem výzkumu bylo vydání podrobné metodiky „Pěstování a využití amarantu“, kterou vydal Ústav zemědělských a potravinářských informací v Praze.

Hlavní, dosud asi nepřekonanou publikací, je práce vědeckého týmu vedeného profesorem Octavio Paredes–Lopézem, Ph.D. s názvem Amaranth Biology, Chemistry and Technology. Jsou zde soustředěny poznatky jak agrotechnické, tak částečně poznatky o složení zrna amarantu, jeho použití i náměty pro další výzkum.

1.2 Současné laboratorní prostředky

Laboratorní technika je dnes na velmi vyspělé úrovni. K této skutečnosti přispěl zejména vývoj nových materiálů. Technologická vyspělost laboratorní techniky je velkým přínosem například pro analytickou chemii. V laboratořích lze provést velice podrobné zkoumání složení látek. Fyzikálněchemické veličiny lze během experimentů přesně upravovat a monitorovat. Nově vyvinuté postupy lze ověřit opakovanými experimenty a dosáhnout shodných výsledků, tj. opakovatelnosti měření. Velmi významný pokrok lze zaznamenat i v oblasti chromatografie. Laboratorní techniku samozřejmě ovlivnil vývoj hardware výpočetní techniky a vývoj software využívající numerické matematiky.

Biochemie je vědní disciplína zabývající se chemickými pochody v živých organismech. Předmětem studia biochemie je struktura a funkce základních stavebních prvků živé hmoty jako jsou například cukry, tuky, bílkoviny, nukleové kyseliny a další biomolekuly.

Už z jednoduchých experimentů provedených v devatenáctém století je známo, že je možné vyvolat reakce vedoucí ke vzniku jednoduchých anorganických látek z látek organických, které jsou produkovány živou přírodou, a naopak lze syntetizovat organické látky z podstatně jednodušších anorganických látek. V biochemických výzkumech jsou nepostradatelné současné experimentální techniky jako chromatografie, elektroforéza, rentgenová difrakce, NMR spektroskopie, mikroskopie a techniky molekulární biologie. V dnešní době známe většinu metabolických pochodů v živých buňkách, víme jak buňka získává energii, jak komunikuje se svým okolím, z čeho se skládá. Máme představu i o tom, v čem se jednotlivé formy života liší a co mají naopak společného.

Laboratorní biochemický experimentální výzkum má ve srovnání s anorganickou chemií své specifické odlišnosti. Neznáme vždy naprosto všechny vlivy na zkoumaný proces. Navozené pochody jsou katalyzovány mnohem složitějšími látkami, které nazýváme enzymy. Biochemické reakce často neproběhnou se 100% vyčerpáním vstupních látek. Opakovatelnost experimentů a měření ve srovnání s anorganickou chemií je v laboratorních podmínkách mnohem komplikovanější. Současná finančně velmi nákladná laboratorní technika není zárukou naprosto spolehlivých výsledků provedených měření. Provedené experimenty bývají často opakovány a práce věnované této problematice se mnohdy opírají o statistické metody.

1.3 Řešené problémy

1.3.1 Fermentace amarantové vlákniny a amarantové mouky

Fermentace amarantové vlákniny je v současnosti prozkoumána pro využití amarantové biomasy jako obnovitelného zdroje energie. Zda bude pěstování amarantu jako zdroje biomasy rozšířeno v hromadném měřítku, závisí především na ekonomice zatím dominujících neobnovitelných zdrojů energie.

Kvalita dietní vlákniny obsažené v zrně amarantu je předmětem výzkumu v evropských zemích i v zemích na americkém kontinentě. Motivací pro tento výzkum jsou lékařské studie zabývající se plodinou amarant [60] upozorňující na nízký glykemický index potravin vyrobených z amarantu. V současnosti samotný pojem glykemický index začíná být stále více předmětem zájmu lékařů a výrobců potravin. Zkoumána je též problematika obsahu dietní vlákniny v potravinách.

Je zřejmé, že pokud máme posuzovat kvalitu a vhodnost konkrétní vlákniny jako složky potravy, nemůžeme si klást za cíl nahrazení klinických testů. Laboratorně, tzv. *in vitro*, lze odlišit vlákninu nestrávitelnou od stravitelné. Je zapotřebí zdokumentovat průběh fermentace amarantové vlákniny. Tento úkol je řešen jako součást projektu Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky FD-K2/73 „Komplexní využití biomasy amarantu“ [78]. Takováto studie dosud provedena nebyla.

1.3.2 Technologie zpracování amarantu

Je mnoho způsobů jak zpracovat plodinu amarant. Amarant v současnosti není zpracováván zdaleka v takovém množství jako například pšenice. Abychom mohli získat základní potravinářské produkty z amarantu podobné těm, které získáváme z klasických obilovin, je nutné provést více technologických kroků. Například prostou výrobu mouky z amarantového zrna je nutné doplnit o technologický krok oddělení amarantového oleje.

Amarantové zrno je svým složením vhodné pro výrobu extraktů [73]. Výroba extraktů je obecně komplikovanější ve srovnání s potravinářskými technologiemi. Z literatury [17] lze vyčíst obecné laboratorní postupy jak izolovat různé složky z daného vzorku, např. izolovat cukry, bílkoviny. Při laboratorní práci není podstatné, zda při extrakci vznikne nějaký další produkt. Cílem může být například vyhodnocení pouze jedné ze složek, čímž zůstávají ostatní složky nevyužité.

Ve výrobě je každý odpad ztrátou, proto bývá v případě klasických potravinářských technologiích vedlejší produkce zakomponována do technologie například doplňkovou výrobou krmiv. V případě výroby amarantové bílkoviny je vznik odpadů nebo doplňující výroba krmiv neekonomická, protože vstupní surovina, tj. amarantové zrno je ve srovnání s pšenicí dražší. V literatuře [17] jsou popisovány potravinářské postupy, které je zapotřebí modifikovat a vytvořit novou technologii pro výrobu amarantové bílkoviny určenou pro speciální výživu. Tento výzkum je součástí projektu Ministerstva průmyslu a obchodu č. FI-IM/101 „Získávání bílkovin z netradičních zdrojů“ [93].

1.3.3 Laboratorní systémy pro studium fermentačních procesů

Laboratorní systémy umožňující provést v menším měřítku technologický postup využívající fermentaci, bývají v publikacích popisovány převážně obecně. Pro zařízení bývá používán pojem fermentor. Za obecnější lze považovat pojem biostat nebo též bioreaktor. Pro problematiku měření fermentace amarantové vlákniny nebo pro modelování technologických postupů zpracování amarantu je ale neblíže pojem fermentor.

Fermentor je nádoba o objemu minimálně pěti litrů. Instalovány bývají senzory teploty, pH, redoxpotenciálu, vodivosti roztoku, dále kyslíková sonda, případně selektivní elektrody [29]. Fermentory bývají často stavěny pro konkrétní účely laboratoře [29]. Výrobci laboratorní techniky nabízí většinou pouze velké přístrojové celky pro farmaceutický průmysl. Nevýhodou těchto přístrojových sestav je jejich uzavřenost, nejsou dokumentované komunikační protokoly, jednotlivé funkce software jsou předmětem samostatných licencí. Biostaty jsou vhodné především pro laboratoře zabývající se různorodým biochemickým výzkumem. V prostředí univerzity je využití přístrojových sestav tohoto typu problematické. Dalším faktorem je životnost laboratorního vybavení, zejména senzorů.

V publikacích [29][79] jsou popisovány způsoby konstrukce fermentorů. Příkladem pracoviště využívající fermentory vlastní konstrukce je Výzkumný ústav potravinářský v Praze.

1.4 Cíle disertační práce

Téma práce vychází z řešení dílčích etap projektů výzkumu a vývoje Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky B–C3/10/00 „Frakcionace amarantu a využití jeho aktivně zušlechtěných složek ke zlepšení výživy a zdraví populace“, FD–K2/73 „Komplexní využití biomasy amarantu“ a FI–IM/101 „Získávání bílkovin z netradičních zdrojů“ Univerzitou Hradec Králové a Univerzitou Karlovou, lékařskou fakultou v Hradci Králové.

Cílem práce je zmapovat možnosti využití amarantu a měřením zdokumentovat specifické vlastnosti experimentálně vyráběných produktů. Disertační práce řeší návrh měřicích systémů pro dávkové a kontinuální měření fermentačních procesů, výrobu laboratorního vybavení a návrh a tvorbu hardware a software pro snadné porovnávání experimentálních dat. Studuje vlastnosti enzymů, tj. katalyzátorů biochemických reakcí a řeší návrh postupu výroby přípravku s vysokým obsahem bílkovin.

2 Plodina Amarant

2.1 Stručná charakteristika

Amarant patří mezi nepravé obilniny (pseudoobilniny), v současné literatuře je nazýván „rostlinou třetího tisíciletí“ [42]. Nejedná se o výsledek práce genetických inženýrů – byl pěstován již starými Mayi, Aztéky a Inky. S pěstováním amarantu v Evropě se začalo před 10 lety. V přírodě bylo dosud objeveno dle botanické klasifikace šedesát druhů rostlin rodu *Amaranthus*. Většinou rostou planě (obrázek 1) nebo jako okrasné druhy (obrázek 2) a jen několik málo druhů je pěstováno pro sklizeň (obrázek 3).



Obrázek 1: Laskavec zelenoklasý

Jde o rostliny, které se užitím podobají klasickým užitkovým trávám (cereáliím), ale zároveň mají i řadu odlišností. Z hlediska potravy poskytují dvojí užitek – nejen svými zrny, ale zároveň i jedlým podílem zeleniny jejich listové části. Mají původ v tropických pásmech (± 30 stupňů zeměpisné šířky) kontinentů Ameriky a Asie. Některé druhy se přizpůsobily kratšímu světlemu dni i nadmořské výšce do 3500 metrů. Daří se jim optimálně v teplotním rozmezí 20°C až 45°C. Migrací obyvatelstva se adaptovaly na pásma subtropická i mírná [38].

Některé způsoby užití jsou pro tak nenápadnou rostlinu opravdu překvapivé. Například červené barvivo z amarantu (E123) je v Bolívii a severozápadní Argentíně používáno k barvení alkoholických nápojů, v Mexiku a v jihozápadní části USA k barvení kukuřičné pasty a v Ekvádoru k barvení jídla a nápojů [24].



Obrázek 2: Laskavec – okrasná odrůda amarantu (laskavec ocasatý)

Amarant v rozličných lidských kulturách našel řadu zajímavých použití. např. v Mexiku jsou jeho semínka míchána s cukerným roztokem k přípravě cukroví obecně známého jako "alegria" (štěstí), semínka jsou mleta a pražena k výrobě tradičního mexického nápoje nazývaného "atole". Peruánci z fermentovaných semínek připravují nápoj "chicha" nebo různá piva. Karnevalové tanečnice často využívají amarantových květů jako rudé rtěnky a k barvení tváří. V Mexiku i v Peru listy slouží jako zelenina k vaření nebo smažení. V Indii je amarant znám jako "rajeera" (královské obilí) a jeho semínka zde používají k výrobě cukroví nazývaného "laddoos", které je podobné zmíněnému mexickému "alegria". V Nepálu ze semínek vaří kaši "sattoo" nebo po rozdrcení na mouku připravují indické placky "capati". V Ekvádoru vaří květy a červeně zbarvená voda je přidávána do rumu "aquaredeinte", k přípravě nápoje, který údajně "čistí krev" [65].

2.2 Pěstování amarantu

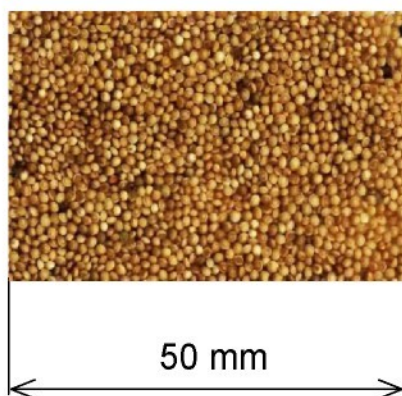
Amarant se již několik desítek let pěstuje ve větším rozsahu zejména v Jižní Americe, v Severní Americe, v Asii, v Austrálii a na Novém Zélandě. Některé odrůdy se v posledním desetiletí pěstují i v České republice. Velkou předností amarantu je jeho mimořádná odolnost vůči extrémním klimatickým podmínkám, zejména vůči suchu a nenáročnost na kvalitu půdy.



Obrázek 3: Amarant – zemědělská odrůda (amarant k237)

Amarant vyžaduje k pěstování nezaplevelené pozemky, lehké až střední půdy, které jsou písčitohlinité až lehčí hlinité. Patří k teplomilným rostlinám. Pro rychlé vzcházení a růst potřebuje teplotu vzduchu nad 15°C a půdu vyhřátou na 10°C. Mráz (teplota nižší než -3°C) způsobí zmrznutí mladých a později vzešlých rostlin. Proto vyséváme až po 10. – 15. květnu. Amarant vyséváme do hloubky 1 cm. Vysází se 350 – 400 tisíc klíčivých semen na 1 ha (výsev 1,2 – 1,5 kg/ha) [25].

Termín sklizně je silně ovlivněn průběhem počasí, zejména na konci vegetace. Zrna dozrávají nestejnoměrně, sklízíme až dozrají dvě třetiny rostlin. Rostliny amarantu jsou zelené i po dozrání zrna a vegetace končí až s příchodem mrazů. Sklízíme pouze za suchého počasí. Po sklizni je nutné zrno ihned vyčistit.



Obrázek 4: Zrno amarantu

Amarantové zrno má velmi malé rozměry, v průměru 1 až 1,5 mm (široké rozmezí je 0,6 až 2,1 mm), malou váhu (1000 až 1500 zrn/g), barvy od bělavé do béžové, hnědavé až černé. U užitkových druhů se preferuje barva světlá (obrázek 4). Tvar zrna je čočkovitý, pod tuhou slupkou je na periférii roviny největšího obvodu stočen klíček, zabírající jednu třetinu objemu zrna a obkružující perisperm zásobárnu škrobu. Sklizeň zrna je možná podle klimatu až třikrát ročně, v našich podmínkách jednou ročně.

Pro amarant je charakteristický mimořádně vysoký obsah bílkoviny a výborná schopnost asimilace. V bílkovině zrna amarantu jsou ve vyšší míře zastoupeny esenciální aminokyseliny, tj. látky, které si tělo nedokáže vyrobit a přitom jsou pro jeho vývoj nezbytné [48].

Zrno ve velkém množství obsahuje lyzin, leucin, isoleucin a tryptofan. U amarantu je jejich obsah několikrát vyšší než u ostatních známých obilovin. Bílkoviny amarantu neobsahují lepek. Amarantové zrno obsahuje vysoce hodnotný tuk obsahující více než dvě třetiny nenasycených mastných kyselin. Amarant zaručuje vyváženou stravu co se týče minerálních látek, jako jsou vápník, hořčík, železo a vitamíny řady B, dále vitamín C a E [4].

2.3 Historie pěstování amarantu

Vezmi si pšenici, ječmen, boby, čočku, proso a špaldu a nasyp to vše do jedné nádoby; budeš si z toho připravovat pokrm po tolik dní, co budeš ležet na boku, budeš to jíst po tři sta devadesát dní. Ezechiel [4:9].

Amarant je odpradáвна spojován s Indiány. Pochází z drsných podmínek vysokohorských oblastí Jižní Ameriky [63]. Nejstarší archeologický záznam o pěstování amarantu nacházíme již 4 000 let před naším letopočtem v Tehuacan Puebla v Mexiku, a řadí jej k jednomu z nejstarších známých potravinových plodin. Sklizeň amarantu byla pro Indiány slavností, na které se podílely celé vesnice [39].

Aztékové přisuzovali amarantu mystické vlastnosti a věřili v drahocenné schopnosti jeho zrn posílit lidskou sílu. Uctívali ho jako dar bohů a nazývali jej nesmrtelným.

Byl oblíbenou plodinou pro svůj dvojí užitek: Ze zrna amarantu připravovali mouku vynikajícího složení a listy se jedly jako salát nebo se upravovaly jako špenát. Ženy k rozdrceným zrnům přidávaly med a lidskou krev a hnětly do červené masy, kterou pekly ve tvarech ptáků a hadů. Tuhle zvrácenou delikatesu jedli Aztékové na náboženských obřadech pro povzbuzení víry a síly [30].

Z historie víme, že tento kontinent byl kolonizován Španělskem. Křesťanští misionáři po svém příchodu na americký kontinent amarant pálili s cílem potlačit tyto pohanské praktiky. Původní indiánská kultura byla devastována. Amarant jako zemědělská plodina byl z náboženských důvodů na několik staletí téměř zapomenut [30].

Amarant byl pěstován v 16. století v Německu, v 18. století v Indii a na Cejlonu (Srí Lanka), v raném 19. století v Himalájích a koncem 18. století ve vnitrozemské části Číny a ve východní Sibiři.

V roce 1990 bylo amarantem oseto již přes stotisíc hektarů půdy. V Rusku a na Ukrajině je amarant užíván hlavně jako píce, ale i zde se začíná prosazovat produkce na zrna. Mezi hlavní producenty amarantu patří Čína, Mexiko, Guatemala, Peru, Indie a Keňa [48].

2.4 Využití amarantu pro potravinářské účely

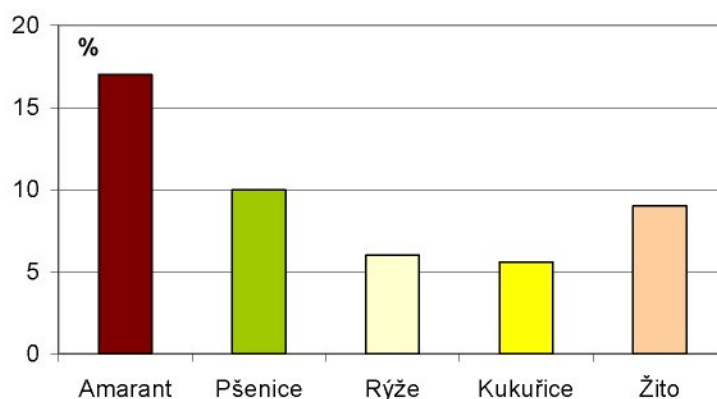
Před 40 lety byly v řadě výzkumných pracovištích v USA zkoumány vybrané odrůdy amarantu z pohledu nutričních vlastností a možností jeho zemědělského uplatnění. Zde byla znovu objevena výjimečnost amarantu. Aztékové, Inkové a Mayové se nemýlili. Amarant má zajímavé složení z hlediska dnes sledovaných látek ve srovnání například s obilovinami a dalšími zemědělskými plodinami [37].

2.4.1 Popisná charakteristika

Amarant je jednoletá rostlina vysoká 150 cm – 213 cm, se širokými sytě zelenými listy a s velkými hlavicemi červených, purpurových nebo žlutých květů. Palice květu obsahují tisíce drobounkých semínek (0,7 mm – 2 mm) čočkovitého tvaru, zlatavě až krémově snědé, některé odrůdy tmavé až černé barvy. Nejsou to pravá obilná zrna. Rostlina je příbuzná špenátu. Je řazena do rodiny "Chenopodiaceae", ale často ji najdeme popisovanou ve vlastní rodině "Amaranthaceae". Jméno je odvozeno od řeckého slova "marainein" – znamenající "nikdy nevadnoucí", protože není jednoduché rozpoznat, zda-li rostlina kvete, či je již odkvetlá. Dnes se pěstuje již v řadě zemí ve velkém, na polích, které vesměs upoutají svou nádhernou barev přecházejících od tmavě červené, fialové, nachové, oranžové, růžové, světle zelené až do bílé. Kromě toho, že je amarant vzhledově atraktivní, je nenáročný, snadno se přizpůsobuje horku i suchu, netrápí ho žádné vážné choroby a škůdci [65]. Droboučká semínka amarantu mají mírně nahořklou ořechovou chuť, listy mají mírně nasládlou chuť podobnou špenátu [31].

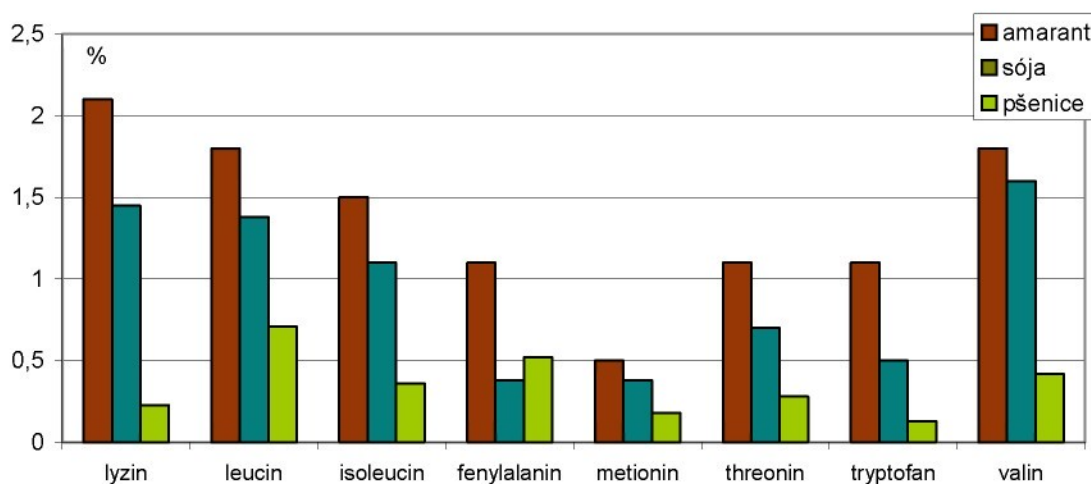
2.4.2 Složení zrna amarantu

Amarantové zrno převyšuje klasická obilná zrna svými nutričními hodnotami (obrázek 5). Nutriční složení amarantového zrna (100 g) lze stručně vyjádřit takto: energie 1550 KJ, bílkoviny 18 g, tuky 8 g, sacharidy 57 g [44].

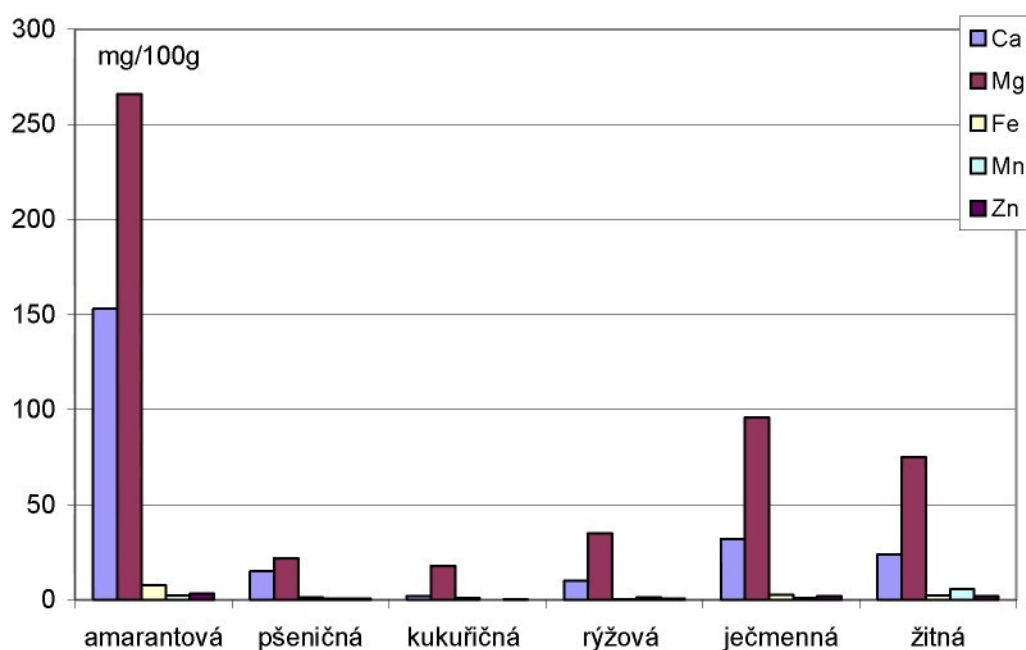


Obrázek 5: Porovnání % bílkovin amarantu s obilovinami

Amarant obsahuje velmi kvalitní bílkoviny, ve srovnání s ostatními obilovinami až dvojnásobně více. Svým složením se bílkoviny amarantu blíží bílkovinám živočišného původu. Mají vysoký obsah esenciálních aminokyselin (obrázek 6), zejména lysinu, albuminů a sirných aminokyselin [36]. Bílkoviny v amarantu neobsahují gliadin a glutenin, proto je tato rostlina plodinou přirozeně bezlepkovou.



Obrázek 6: Zastoupení esenciálních aminokyselin v bílkovinách amarantu, sóji a pšenici



Obrázek 7: Porovnání obsahu minerálů v amarantové mouce s obilovinami

Amarant je výborný zdroj minerálních látek (obrázek 4, tabulka 1). Obsahuje velké množství vápníku, hořčíku, železa, fosforu i některých stopových minerálů. Obsah vápníku je srovnatelný s mléčnými výrobky.

Tabulka 1: Porovnání obsahu minerálů v amarantu a v pšenici [1] [5]

	mg/100g amarantu	% více než v pšenici
Vápník	153	528
Hořčík	266	211
Železo	7,5	238
Fosfor	455	158
Zinek	3,2	120
Měď	0,8	179

Amarant je bohatý na některé vitamíny, hlavně řady B a antioxidanty, jako je vitamín E. V listech jsou obsaženy flavonoidy, zejména rutin (někdy označován jako vitamín K) [41] [51]. V tabulce 2 jsou uvedeny procenta denní doporučené dávky (RDA), které získáme ze 100g amarantového zrna.

Tabulka 2: Procento RDA v 100g amarantového zrna [91]

	100g amarantu	% RDA muži	% RDA ženy
Vitamin E [mg]	1,00	10,00	8,20
Vitamin C [mg]	4,20	6,80	6,80
Vitamin B ₁ [mg]	0,80	52,00	71,00
Riboflavin B ₂ [mg]	0,20	12,00	15,60
Niacin: B ₃ [mg]	1,25	6,60	8,30
Vitamin B ₆ [mg]	0,22	10,80	13,60
Folacin [mcg]	47,77	23,90	26,60

Obvykle je značná část vitamínů, minerálů a vlákniny obsažena ve slupkách zrn. U amarantových zrn je tomu také tak. Zrno amarantu je však na rozdíl od ostatních obilovin mleto v kladívkových mlýnech celé (neloupané).

Amarantový tuk je v zrně v množství 6 % až 8 % a obsahuje v převážné míře nenasycené mastné kyseliny (kyselina linolová, olejová, linolenová), které příznivě ovlivňují zdravotní stav současného člověka ohrožovaného civilizačními chorobami. Tuková složka amarantu navíc obsahuje významnou složku – skvalen (7 % a 8 % z celkového množství tuku). Důležitou vlastností skvalenu je, že brání nadbytečné syntéze cholesterolu v organismu. Zařazení potravin s amarantem do jídelníčku tak může pomoci snížit hladinu cholesterolu v krvi. Skvalen je zároveň antioxidantem, který působí příznivě jak uvnitř organismu, tak na povrchu (pokožce). Tuk ze zrna amarantu lze extrahovat a získat tak čistý amarantový olej, který je vhodnou složkou v kosmetických přípravcích, kde prokazatelně působí preventivně i léčebně na kůži. Je používán i jako dietetikum [91]. Skutečnost, že množství skvalenu v amarantu je vyjimečné, ukazuje tabulka 3.

Tabulka 3: Obsah skvalenu v některých olejích [15]

původ oleje	% oleje v surovině	% obsahu skvalenu v oleji
amarantový	7,0	7,0
olivový	36	0,4
rýžový	16	0,3
kukuřičný	4	0,03
arašídový	47	0,03
slunečnicový	47	0,01
z bavlněného semene	7	0,01
kokosový	35	0,002

Amarant podporuje díky vyššímu obsahu některých zdraví prospěšných látek regeneraci buněk, významně ovlivňuje látkovou výměnu, zvyšuje imunitu. Je velmi vhodný pro rekonvalescenty a lidi s psychickou a fyzickou zátěží. Mohou ho konzumovat lidé trpící celiakií a potravinovými alergiemi. Podporuje tvorbu mozkových buněk, zlepšuje trávení. Jeho vláknina je prevencí rakoviny tlustého střeva a konečníku, pomáhá při zácpě, snižuje hladinu cholesterolu v krvi [28]. Použití samotného amarantu je obvyklé v podobě POPu – zrno expandované v horkém vzduchu. Tato tepelná úprava umožňuje amarantové zrno používat i bez další tepelné úpravy např. do cereálních směsí, v cukrářských výrobcích. Je to nejpoužívanější forma úpravy amarantu ve světě – až jedna polovina produkce. Další část je používána na výrobu amarantové mouky, která se přidává do různých pokrmů. Amarant je považován za funkční potravinu [40].

2.4.3 Funkční potraviny

Funkční potravina musí obsahovat významně vyšší množství látek, které mají prokazatelný a prokázaný příznivý efekt na zdraví [12]. Do této kategorie se tedy nepočítají potraviny obohacené (fortifikované) vitamíny nebo minerálními látkami. Funkční potravina musí poskytnout tyto látky ve větším, takzvané nutričně významném množství. Nesmí se jednat pouze o tabletovou formu. Zatím je legislativní stránka této problematiky a její sjednocení v Evropské unii nepřehledné. Funkční potraviny se získávají tak, že se v původní receptuře významně zvýší obsah příznivě působících látek (speciálních typů vlákniny, izoflavonů, probiotik nebo prebiotik) nebo je použita surovina, v níž je vyšší obsah žádoucí látky dosažen speciálním šlechtěním. Funkční potravina může také vzniknout i tak, že je z ní odstraněna nežádoucí složka (například alergizující). Pokud chce výrobce použít novou látku – funkční přísadu, se kterou nejsou dlouhodobé zkušenosti, musí projít schvalovacím procesem [64].

Z předcházejících údajů je zřejmé, že amarant svým vysokým obsahem některých látek splňuje kritéria pro funkční potravinu. Jen desetiprocentní přídavek amarantové mouky do potravin již významně zlepší jejich nutriční hodnoty. Koncentrováním některých látek a amarantu, nebo jejich separací lze následně jednoduše vyrábět funkční potraviny, doplňky stravy nebo tablety. Jde například o vlákninové koncentráty a již zmíněný amarantový olej [28].

2.4.4 Racionální výživa

Racionální výživou (z lat. *ráció* – rozum) rozumíme výživu, která odpovídá potřebám organismu po stránce kvality i po stránce kvantity. Nové poznatky o vlivu výživy mohou být využity k primární prevenci řady chronických chorob a k posilování zdraví. Z výsledků exaktního výzkumu a z lékařských studií jsou sestavována doporučení výživy pro obyvatelstvo. Vychází se jak z úrovně vědeckých poznatků, tak i z určitých zvyklostí jednotlivých zemí. Doporučené dávky potravin vycházejí z doporučených dávek živin pro jednotlivé kategorie obyvatel dle stáří, fyzické zátěže apod. Při příjmu doporučených dávek potravin musí být zaručeno, že všechny sledované živiny byly přijaty ve stravě v dostatečném množství. Řada běžných potravin však nemá z tohoto pohledu optimální složení [33]. Stravovací návyky je obvykle obtížné měnit. Schůdnější cestou je ovlivnit složení konvenčních potravin přidavkem složek bohatších na některé komponenty, aniž by změna zásadně změnila výrobek. Tuto roli může sehrát právě amarant.

2.4.5 Potraviny z amarantu

Amarantová mouka vyrobená mletím neloupaného zrna obsahuje olej a tím se liší od pšeničné mouky. Odstraněním oleje získáme mouku, kterou lze skladovat a používat při výrobě pečiva obvyklým způsobem. Amarantová mouka váže mnohem více vodu. Je oblíbená v masném průmyslu k zahušťování. Amarantovou mouku lze přidávat do pšeničné mouky (asi 15%) a péct pečivo podle obvyklých receptur. Již dnes jsou na našem trhu dostupné různé těstoviny a krupky s jejím obsahem.

Pšeničnou mouku, která je surovinou pro výrobu pečiva, nelze jednoduše nahradit odtučněnou amarantovou moukou při použití obvyklých receptur. Důvodem je mimo jiné přirozená bezlepkovost amarantové mouky. U potravin pro zdravou populaci, kde není obsah lepku problematický, jsou často používány směsi amarantové a pšeničné mouky. Toto řešení je výhodné jak ekonomicky, tak co se týče výsledné biologické hodnoty potravin. Pouhých 20 procent amarantové mouky ve směsi ovlivní významně hladiny sledovaných látek, zejména bílkoviny, esenciální aminokyseliny, lysin, dále minerály, zejména hořčík, vápník, železo, draslík, fosfor, dále polysacharidy v podobě škrobu a dietní vlákniny (zde je přínos významný). Jednoduchá studie kvality potravin vyrobených z amarantu a pšenice je dostupná v publikaci [99] Amarant – zdroj kvalitní vlákniny nebo ve větším rozsahu v závěrečné zprávě projektu [93].

Zdravé populaci pomáhají potraviny vyrobené z amarantové mouky odolávat civilizačním chorobám. Kvalitní výživa vede k lepším sportovním i duševním výkonům. Významný je preventivní účinek proti nádorovým onemocněním tlustého střeva. Lidem, kteří jsou nemocní celiakií umožňuje amarant, jako přirozeně bezlepková potravinu, konzumaci pečiva. Pro osoby s alternativním způsobem stravování (vegetariáni, makrobiotici) je vhodným zdrojem kvalitní bílkoviny, která je podobná bílkovině živočišného původu [31].

2.5 Využití amarantu pro energetické účely

Využití amarantu pro energetické účely souvisí s obnovitelnými zdroji energie, které jsou nezávislé na zásobách, o kterých se domníváme, že pocházejí z daleké minulosti.

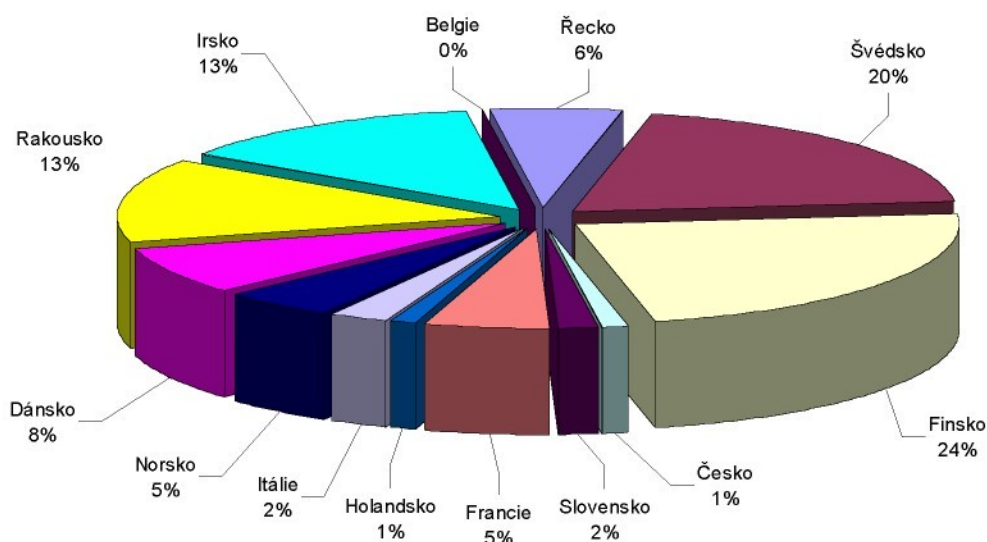
2.5.1 Obnovitelné zdroje energie

O obnovitelných zdrojích energie slyšíme stále častěji. Využíváním zdrojů energie rozumíme metody získávání energie z přírody v požadované formě (teplo, mechanickou práci, elektrický proud, paliva). Důležitým faktorem pro životní prostředí je úroveň znečištění látkami, které jsou pro přírodu i pro nás cizí nebo dokonce toxické.

Se vzrůstajícími energetickými potřebami je a bude nutné sledovat i produkci látek, které sice nejsou v přírodě cizí, nejsou přímo toxické, jsou součástí přírody, ale jejich produkce ve velkém narušuje ekosystém Země. Jedná se zejména o produkci oxidu uhličitého. Například spotřebou paliva vyrobeného z ropy nebo uhlí vyprodukujeme oxid uhličitý a přidáme jej do ekosystému Země. Zasadíme-li strom, za půl století jej pokácíme a pálením dřeva získáme energii, nevyprodukujeme tak oxid uhličitý. Strom po celou dobu svého života oxid uhličitý spotřebovával a pro náš energetický požitek tak vytvořil v ekosystému prostor (prostor pro oxid uhličitý vzniklý při rozkladu celulózy).

Druhým důvodem (často uváděným jako důvod hlavní), proč se zabývat obnovitelnými zdroji energie, je hrozba vyčerpání neobnovitelných zdrojů (úplné vytěžení ropy, uhlí a zemního plynu).

Obecně můžeme říci, že obnovitelným zdrojem je jakýkoliv postup využití sluneční energie – přímé využití sluneční energie (např. fotovoltaická přeměna na elektrický proud), výše uvedený příklad se stromem, vodní a větrná energie. Za speciální příklad obnovitelného zdroje, který využívá jinou než sluneční energii lze považovat využití přílivu a odlivu.



Obrázek 8: Využívání obnovitelných zdrojů energie v evropských zemích [19]

V současnosti je věnováno velké úsilí výzkumu a vývoji technologií a jejich provoznímu ověřování. Světová konference "The main conclusions from the First World Conference and Exhibition of Biomass for Energy and Industry, Sevilla 2000" dala impuls k cílenému rozvoji nových technologií, odklánějících se od využívání neobnovitelných zdrojů energie, které vede k produkci plynů tvořících skleníkový efekt [61]. V některých evropských zemích tvoří obnovitelné zdroje značný procentuální podíl celkové energetické spotřeby (obrázek 8).

2.5.2 Problém globálního oteplování Země

Globální oteplování Země souvisí právě s využíváním neobnovitelných zdrojů energie a produkcí oxidu uhličitého. Současný ekonomický stav je pro obnovitelné zdroje nepříznivý. Neobnovitelné zdroje pocházejí převážně z míst, kde je příroda drancována a vyrobená plyná, kapalná i pevná paliva jsou levná (nejsou započítány všechny náklady). Paliva a elektrická energie vyrobená z obnovitelných zdrojů jsou proto obvykle dvakrát až desetkrát dražší.

Ekosystém Země je na první pohled velice stabilní. Intenzivní lidská činnost za posledních sto let nezpůsobila zatím žádné globální katastrofy jaké jsou vyobrazeny ve vědeckofantastické literatuře a některých velko filmech (většinou z produkce hlavního světového znečišťovatele). Vědci, zabývající se výzkumem ekosystému Země, upozorňují na jeho zranitelnost a na skutečnost, že vše co na Zemi vyvedeme se projeví se značným zpožděním (desítky až stovky let).

Ekosystém země vykazuje tedy něco, co by odborníci na regulaci a řízení označili termínem dopravní zpoždění. Za posledních 200 let teplota Země vzrostla o $0,6^{\circ}\text{C}$. Vědci odhadují, že skleníkové plyny, které lidé dodali dosud do ekosystému, způsobí v následujících letech postupné oteplení o $1,4^{\circ}\text{C}$ až o $5,8^{\circ}\text{C}$. Laické konstatování, že pokud bude mírně tepleji, tak to není vážný problém, je chybné. Oteplení Země způsobí značné metrologické změny a změni výrazným způsobem koloběh vody v přírodě. Je nutné si uvědomit, že rozmary počasí (záplavy, sucha, hurikány) měly v minulém století na svědomí více obětí a hospodářských ztrát než jiné přírodní katastrofy dohromady (zemětřesení, sopečná činnost) [11]. V dnešním nejistém světě spousta zemí investuje do technologií na využití obnovitelných zdrojů nejen z důvodu popularity politiků, ale též i z důvodu energetické nezávislosti států (tato motivace je pravděpodobně silnější než Kjótský protokol z roku 1997). Například ve studentských novinách Tenze jsou naznačeny výsledky průzkumu, ze kterých vyplývá, že strach z fenoménu globálního oteplování má obavy 51 % mladých lidí (dále respondenti zmiňují terorismus a vyčerpání neobnovitelných zdrojů) [11].

2.5.3 Druhy obnovitelných zdrojů energie a jejich dostupnost

Využívat sluneční energii je možné mnoha způsoby. Přímé fotovoltaické zdroje elektrické energie jsou zatím nedoceny. V České republice se jedná spíše o ojedinělé aplikace. V některých evropských zemích to lidé myslí opravu vážně. V záměru Evropské unie pro fotovoltaiku je do roku 2010 instalovat 3 GW elektrického výkonu. Tento způsob převodu sluneční energie pracuje s účinností 7 % až 16 %, laboratorně bylo dosaženo 32 % [57]. Můžeme tedy předpokládat, že fotovoltaika ovlivní architekturu 21. století. Je však zřejmé, že nahrazování živé krajiny fotovoltaikou není metodou jak bránit globálnímu oteplování Země. Tento obnovitelný zdroj energie je zajímavý pro pouštní země. Podle propočtů pokrytí přibližně 1 % plochy pouští slunečními články s 15% účinností by vyprodukovalo více elektrické energie než všechny současné elektrárny světa [84].

Dalším obnovitelným zdrojem je energie větru. Větrná energie patří k nejčistším dostupným energetickým zdrojům. Záměr Unie v roce 2000 čítal 40 GW výkonu. Tento způsob získávání energie je zakořeněn v povědomí lidí. Na našem území je instalace větrných elektráren nepříliš vhodná ve velkém měřítku proto, že místa, kde je dostatek větru, leží většinou na horách a v rekreačních oblastech, kde ruší zvěř, zabíjí ptáky, ohrožují turisty odletujícími kusy ledu z vrtulí, a především hyzdí krajinu, kam stometrové stožáry nepatří [13].



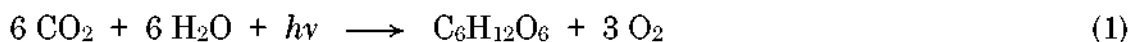
Obrázek 9: Větrné generátory umístěné v areálu malé jaderné elektrárny v Dánsku [26]

V současné době (zejména v Rakousku a Německu a dalších evropských zemích) slouží též jako „uklidňovače“ ekologických aktivistů (viz. obrázek 9). Je nutno též na rovinu říci (nejen v souvislosti s větrnými elektrárnami), že za znečištění životního prostředí dnes nepovažujeme pouze exhalace ze spalování, ale též hluk, elektromagnetické pole a narušování krajiny a života jakýmkoliv způsobem.

Technologiím, konstrukcím a designu větrných generátorů je věnována značná pozornost. Je pravděpodobné, že výše uvedená negativa větrných elektráren budou postupně omezena na přijatelnou úroveň.

V minulosti i dnes je běžně užívaným obnovitelným zdrojem energie voda řek a potoků. Naše území je svou geografickou polohou přímo předurčeno k využití vodní energie v malých vodních elektrárnách. Vodní elektrárny se na celkovém instalovaném výkonu v republice podílejí zhruba 17% a na výrobě necelými 4%. Technicky využitelný potenciál řek ČR činí 3380 GWh/rok. Z toho potenciál využitelný v malých vodních elektrárnách je 1570 GWh/rok. Dnes využitý potenciál v malých vodních elektrárnách činí zhruba 30 %, tj. cca 500 GWh/rok [27]. Negativní dopady vodních elektráren na životní prostředí nemusí být tak zřejmé jako u větrných elektráren. Neuvážený zásah do vodních ekosystémů může přírodě a životu velice ublížit. Vodní díla bývají často stavěna též s cílem akumulovat energii pro vykrytí energetických špiček a „neposlušnosti“ zdrojů (sluneční a větrné elektrárny). Je nutno připomenout, že jediným známým způsobem jak akumulovat elektrickou energii ve velkém je přečerpávací elektrárna. Nechme se překvapit zda bude objevena rafinovanější metoda (v oboru mobilních technologií to budou pravděpodobně palivové články).

V souvislosti s trvale udržitelným rozvojem bývají stále častěji zmiňovány biotechnologie, zejména pak využití sluneční energie tím nejpřirozenějším způsobem a to pomocí fotosyntézy rostlin. Zdroje a produkty fotosyntézy jsou patrné ze vztahu (1).



Vraťme se k výše zmíněnému příkladu stromu a metodám využití nahromaděné energie. Příroda má totiž jednu úžasnou schopnost přeměňovat vodu, oxid uhličitý (dále i dusík a procentuálně malé množství dalších prvků) v rozmanité energeticky bohaté sloučeniny. Proto, abychom nahradili všechny formy energie, na které jsme si zvykli od doby parních strojů, (tj. pevné palivo, elektrická energie, palivo pro zážehové spalovací motory, palivo pro vznětové spalovací motory, topný plyn) je nutné vyvinout nové technologie, které budou ekonomicky konkurenceschopné. Podle současných propočtů to není nemožné, zvláště připočítáme-li např. k ceně uhlí finanční prostředky, které věnují státní rozpočty zemí na zmírnění škod způsobených těžbou a na sociální program horníků. Dalším příkladem může být výpočet skutečné ceny elektrické energie z jaderné elektrárny, spočítáme-li cenu její stavby, jejího provozu a přičteme náklady na její likvidaci (zakonzervování na věčné časy). Poslední zmíněná položka bývá vyšší než vybudování elektrárny. To je skutečný důvod proč je v některých zemích plánován útlum jaderné energetiky.

2.5.4 Biomasa

Biomasaou rozumíme veškerou hmotu organického původu, tj. veškerou živou hmotu. Biomasa rostlinného původu bývá v české literatuře označována termínem fytomasa. V anglické literatuře tento termín používán není. Pro energické účely můžeme využít biomasu jakéhokoliv původu (dřevo, vše ze zemědělské produkce, tráva, sláma, živočišný odpad, kaly z čistíren odpadních vod). Odpady lze ekologicky zpracovávat a současně využít energii, která při samovolném rozkladu zůstala nevyužita nebo biomasu cílevědomě zemědělsky produkovat a zpracovávat (přímo spalovat nebo přeměňovat na jiná paliva) [43].

2.5.5 Biomasa z amarantu

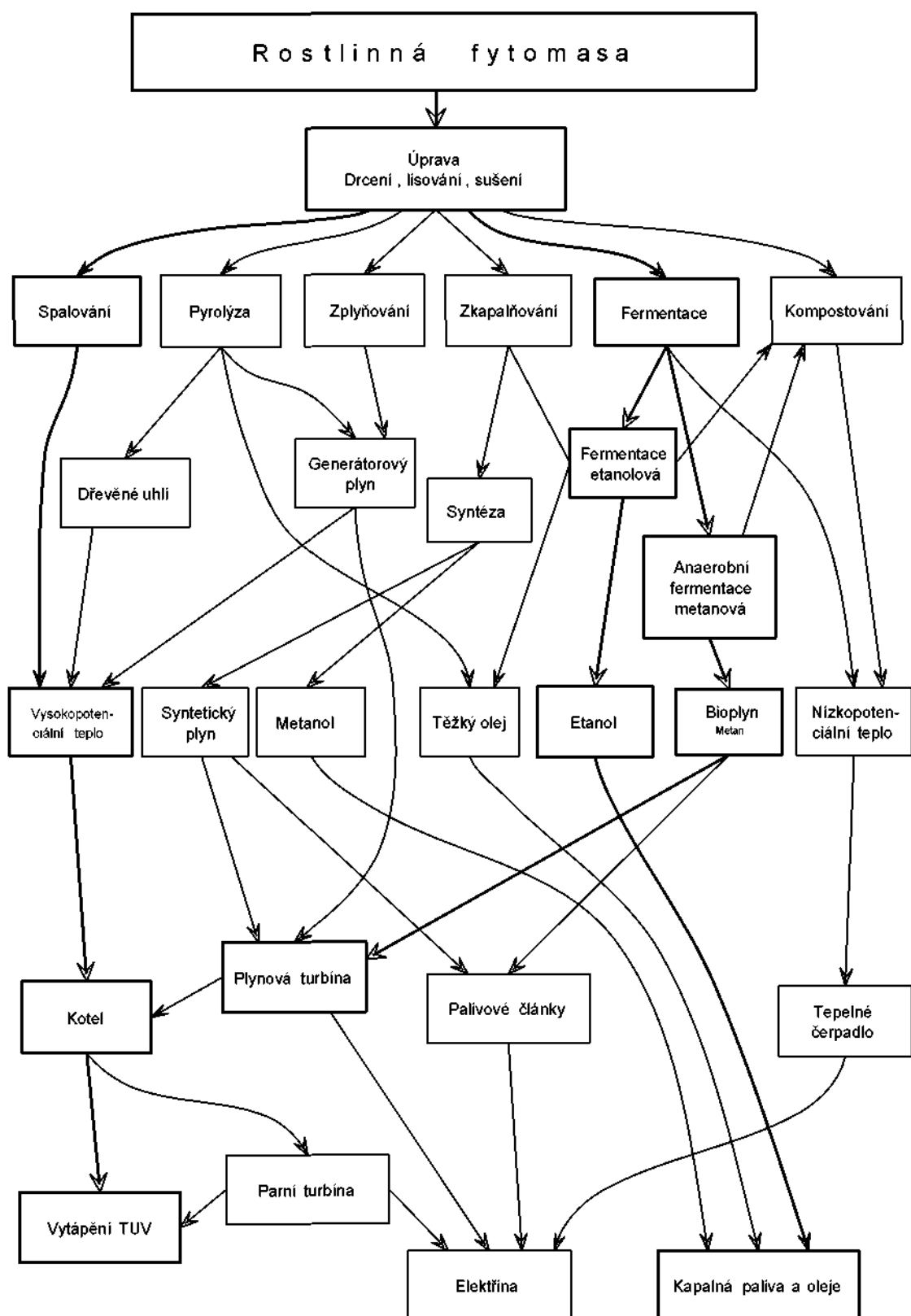
Z pohledu efektivní produkce biomasy je amarant zajímavý, patří do skupiny rostlin s C4 cyklem, které mají velkou rychlost fotosyntézy, ekonomičtěji využívají světelnou energii při fixaci CO₂, mají sníženou fotorespiraci a dosahují vysoké hodnoty fotosyntetické produkce, tedy i tvorby biomasy [9]. Senáž je kvalitou blízká vojtěškové (produkce sušiny biomasy je přes 20t/ha). Biomasa amarantu nachází uplatnění ve výrobě papíru. Některé druhy amarantu poskytují surovinu pro produkci barviv a kosmetických přípravků. Amarant je schopen za příznivých klimatických podmínek vytvořit až 4x více biomasy než k tomuto účelu pěstované rostliny, dřeviny [78].

Amarant lze výhodně pěstovat na polích, která nejsou potřebná pro produkci potravin. Současné odhady, dle údajů Ministerstva zemědělství, čítají přibližně 1 milion ha zemědělské půdy, která není nezbytná pro produkci potravin či krmiv. Jedná se o značnou plochu, na které lze pěstovat "zelenou" energii. Pro naše klimatické podmínky jsou studie výtěžku 1400 litrů tekutého paliva z 1 ha [52].

Významnou výhodou pro pěstitele energetických rostlin jsou dotace Ministerstva zemědělství v rámci programu uvádění půdy do klidu. Jedná se o nařízení vlády č. 86/2001 Sb., kde je v příloze č.5 uveden seznam rostlin, určených pro energetické využití [43].

2.5.6 Způsoby energetického využití biomasy

Spalování dřeva je triviální příklad využití biomasy. Pokud chceme běžně používaná tekutá a plynná paliva vyráběná dnes převážně z neobnovitelných zdrojů nahradit, potřebujeme speciální postupy a technologie pro zpracování biomasy. Různé směry a metody znázorňuje obrázek (obrázek 10).



Obrázek 10: Schéma směrů využití fyto-masy [85]

Způsobů zpracování biomasy je samozřejmě více. Zaměříme-li se na výrobu paliv, musíme například zmínit výrobu bionafty z řepkového oleje. Protože toto palivo není ideální náhradou klasické motorové nafty, jsou hledány další metody a technologie. Byl objeven způsob výroby velice čistého paliva pro vznětové motory z metanu (zatím laboratorně). Některé další informace o využití biomasy znázorňuje následující tabulka (tabulka 4).

Tabulka 4: Technologie zpracování biomasy a jejich produkty [71]

	Technologie	Produkty – Výstupy
Chemické přeměny	Spalování	Teplo, elektřina
	Zplyňování	Olej, plyn, dehet, metan, čpavek, metanol
	Rychlá pyrolýza	
Chemické přeměny ve vodním prostředí	Zkapalňování	Olej
	Esterifikace	Metylester řepkového oleje
Biologické procesy	Anaerobní fermentace	Metan
	Alkoholové kvašení	Etanol
	Kompostování	Teplo

Palivo pro zážehové motory (benzín) lze nahradit upravením etanolu vyrobeného anaerobní fermentací fytohmoty. Například v Brazílii při ropné krizi zahájili výrobu bioetanolu z cukrové třtiny a zajistili tak pohonné hmoty až z 80 % potřeby celé země. Do směsi s ropným benzinem lze použít bioetanol nebo metyl-terc-butyléter (MTBE) a etyl-terc-butyléter (ETEBE), což jsou oxigenáty obsahující kyslík. Jejich příměs snižuje emise motorů, hlavně oxid uhelnatý a uhlovodíky. Při využívání bioetanolu v automobilech, kde není třeba upravovat motory lze používat např. tyto směsi: benzín s příměsí 5 % až 7 % etanolu, nebo s 13 % až 15 % ETEBE hmotnostních. Příměs ETEBE do benzínu je výhodná, proto je jeho výroba u nás zaváděna. V roce 2000 byl u nás vyroben ETEBE asi ze 700 tun bioetanolu [43].

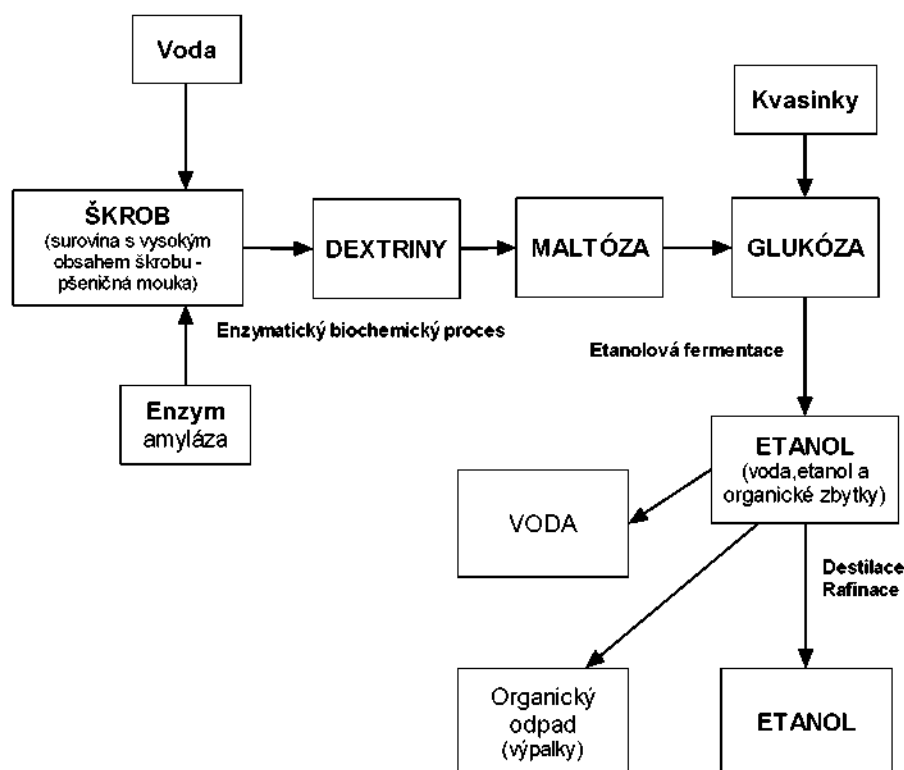
2.5.7 Anaerobní a aerobní fermentace

Biologický rozklad organických látek je komplex fyzikálních, chemických a biologických pochodů. Jedná se o působení mikroorganismů a enzymů na organickou hmotu, kde výsledkem je rozklad organických látek až na jednoduché sloučeniny. Biologicky odstranitelné organické látky se mohou činností mikroorganismů rozkládat aerobně (za přístupu kyslíku) nebo anaerobně (bez přístupu vzduchu a kyslíku), případně průběhem obou procesů současně.

Rozdíl mezi hlavními dvěma způsoby je ve složení biomasy a v konečných produktech rozkladu. Při aerobním rozkladu mikroorganismy odbourávají biochemicky rozložitelné organické látky, přičemž se uvolňuje energie a CO_2 a probíhá syntéza nové biomasy. Při anaerobním rozkladu vznikají produkty redukce, především metan. Při aerobních mikrobiálních procesech je přibližně 60 % energie spotřebováno na syntézu nové biomasy a 40 % se ztrácí ve formě reakčního tepla. Při anaerobních procesech je téměř 90 % energie obsažené v substrátu zachováno ve vzniklém bioplynu, 5 % až 7 % je spotřebováno na růst nové biomasy a 3 % až 65 % je ztraceno ve formě reakčního tepla [22].

2.8.8 Alkoholová fermentace

Z biomasy amarantu nebo jiných rostlin, které obsahují cukry a škrob, je možné získat organickou fermentací v mokré prostředí a následně destilací vysoko-percentní etanol. Teoreticky lze z 1 kg cukru získat 0,65 l čistého etanolu. V praxi je však energetická výtěžnost 90 % – 95 %, protože vedle etanolu vznikají další produkty (např. glycerín) [85]. Alkoholovému kvašení musí předcházet biochemická reakce štěpení škrobu na cukry. Tato reakce se navozuje pomocí průmyslově vyráběných enzymů. Celý proces je znázorněn na obrázku (obrázek 11).



Obrázek 11: Blokové schéma procesů probíhajících při výrobě bioetanolu

2.8.9 Spalování biomasy

Klasický způsob spalování lze použít především u spalování dřeva a při spalování pevných paliv k tomuto účelu vyrobených z biomasy [92]. Ve světě existují i plantáže rychle rostoucích dřevin. Pěstovány jsou především topoly, které lze sklízet 1x za 3 roky až 5 let a vrby, kde je sklizeň častější, obvykle 1x za 2 roky až 3 roky [43].

Amarant, biomasa bylinného charakteru (nedřevní hmota) se po zahřátí v topeništi mění až z 85 % ve spalné plyny, které vyžadují pro kvalitní spálení jiný systém hoření, než fosilní paliva. Do hořícího paliva musí být zaveden primární vzduch, do hořících plynů sekundární vzduch a u větších topenišť i terciární vzduch. Hořící plameny musí dohořet bez ochlazování v keramické dohořovací komoře. Odebírat teplo lze až v místě úplného vyhoření spalných plynů. Tyto zásady efektivního spalování biomasy je nutné obecně dodržovat ve všech typech kotlů spalujících biomasu [43].

3 Měřicí systémy a biochemické fermentační procesy

3.1 Parametry ovlivňující fermentační procesy

3.1.1 Vliv teploty na anaerobní fermentaci

Teplota patří mezi nejdůležitější fyzikální veličiny, které ovlivňují rychlost anaerobního rozkladu organických látek. Aktivita populace jednotlivých typů mikroorganismů je maximální v určitém teplotním rozmezí. Rozmezí dělíme na tři teplotní oblasti. Teplotní oblast 4°C až 20°C nazýváme psychofilní a jejím optimem je 20°C. Na ní navazuje oblast mezofilní v rozmezí 20°C až 45°C s optimem kolem 35°C až 43°C. Poslední termofilní oblast je v rozmezí 45°C až 97°C a má optimum mezi 53°C až 60°C.

Rozkladu se účastní různé kultury mikroorganismů. Mikrobiální tvorba tak probíhá v teplotním rozmezí od 4°C do 97°C. Výsledky anaerobního rozkladu organických látek tak závisejí na vytvoření optimálních podmínek pro mikroorganismy jak v předmetanizační, tak i v metanizační fázi.

V průběhu fermentace dochází k postupné adaptaci mikrobiálního osazení na převládající teplotu, proto se má zvolená teplota fermentace udržovat pokud možno na stejné úrovni. Kolísání teplot v rozmezí 2°C až 4°C nemá významný vliv na průběh fermentačních procesů. Při konstrukci reaktorů je nutné zajistit, aby teplota uvnitř reaktoru nebyla ovlivněna výkyvy teplot vnějšího prostředí. K poruše stability může dojít při nedostatečné regulaci teploty [8].

3.1.2 Acidita a alkalita při fermentačních procesech

Optimální pH růstu metanogenních bakterií leží v neutrální oblasti s příslušným rozmezím závislým na druhu organismu, pro většinu vyhovuje pH 6,2 až pH 7,8. Optimální pH u čistých kultur je však odlišné. Obecně lze říci, většina metanogenních mikroorganismů nejlépe roste v neutrálním nebo slabě kyselém prostředí. Některé druhy mají velice úzký rozsah pH, ve kterém jsou schopny růst. Optimální rozmezí pH je pro ně 6,5 až 7,5. Naopak jiné jsou schopné růst v rozsahu od pH 5,0 až pH 8,1. Citlivost zřejmě závisí na schopnosti udržet vnitrobuněčné pH konstantní při změně prostředí, což je dáno vlastnostmi cytoplasmatické membrány. Na rozdílu vnitřního a vnějšího pH také závisí membránový potenciál a protonový transportní gradient, který ovlivňuje růst mikroorganismů [29].

Proces anaerobní fermentace amarantové biomasy se pohybuje v rozmezí pH 6,6 až 7,6 s optimem pH 7,0 až 7,2. Klesne-li hodnota pH pod 6,2, nastává nebezpečí narušení životních cyklů metanogenních bakterií. U některých kultur autoři udávají produkci metanu i při pH 4,6. Rovněž zvýšení pH nad 8,0 zbrzdí činnost mikroorganismů. Experimentálně naměřené pH při maximu metanogeze nemusí souhlasit s optimálním pH pro růst metanogenních mikroorganismů.

Vliv acidity

Aciditou označujeme schopnost některých součástí vzorku vázat ekvivalentní množství hydroxidových iontů silné zásady. Tento jev způsobují oxoniové ionty, neionizované části slabě ionizovaných kyselin (např. kyseliny uhličitě), hydrolyzující se soli, popřípadě i složky slabých organických zásad.

Spotřeba silné zásady k neutralizaci těchto složek je stechiometricky úměrná jejich celkovému obsahu v analyzovaném vzorku a nazývá se celková acidita [21].

Stanovení pH se provádí acidimetrickou titrací odměrným roztokem alkalického hydroxidu s použitím acidobazických indikátorů k určení bodu ekvivalence. U vzorků zakalených, zabarvených nebo u vzorků s obsahem součástí znemožňujících barevnou indikaci se použije k určení bodu ekvivalence potenciometrické metody měření pH.

Protože aciditu způsobují vesměs dobře rozpustné látky, stanovuje se zpravidla pouze v kapalně fázi vzorku. Vzorek pro stanovení acidity se odebírá pokud možno bez pevné fáze do širokohrdlé vzorkovnice, která se naplní až po zátku. U vzorků substrátů s vysokým obsahem sušiny se stanovení acidity provádí ve výluhu destilovanou vodou, zbavenou oxidu uhličitého.

Vzorky pro stanovení se nekonzervují, je třeba je zpracovat do 24 hodin. U některých substrátů, zvláště u substrátů v neukončeném anaerobním rozkladu, je nutno stanovení acidity provést ihned po odběru.

Výsledky se vyjadřují v molární koncentraci $c_{(\text{OH}^-)}$ jako celková acidita a zjevná acidita. S výsledkem se uvádí způsob úpravy vzorku a čas, který uplynul od odběru do zpracování vzorku [29].

Vliv alkality

Alkalitou se označuje schopnost některých součástí vzorku vázat ekvivalentní množství H_3O^+ iontů silné kyseliny.

Tento jev způsobují hydroxidové ionty a anionty slabých minerálních a organických kyselin (zejména hydrogenuhlčitany a uhlčitany). Spotřeba silné kyseliny k neutralizaci těchto složek je stechiometricky úměrná jejich celkovému obsahu v analyzovaném materiálu a označuje se jako celková alkalita [21].

Podíl celkové alkality odpovídající neutralizaci vzorku odměrným roztokem silné kyseliny na hodnotu pH 8,3 se označuje jako zjevná alkalita.

Stanovení pH provádíme alkalimetrickou titrací odměrným roztokem silné kyseliny s použitím acidobazických indikátorů k určení bodu ekvivalence. U vzorků zabarvených, zakalených nebo u vzorků s obsahem součástí znemožňujících barevnou indikaci používáme k určení bodu ekvivalence potenciometrické měření pH. Ve většině případů způsobují alkalickou reakci kapalně fáze substrátu jen látky ve vodě rozpustné, a proto se alkalita stanovuje v kapalně fázi vzorku. Vzorek pro stanovení alkality se odebírá pokud možno bez pevné fáze do širokohrdlé vzorkovnice, která se naplní až po zátku (ochrana před ztrátou rovnovážného CO_2). U vzorků s vysokým obsahem sušiny se stanovení alkality provede ve výluhu destilovanou vodou, zbavené CO_2 .

Vzorky pro stanovení nelze konzervovat. Jejich zpracování je třeba provést do 24 hodin. U některých vzorků substrátů, zvláště u substrátů v neukončeném anaerobním rozkladu, je nutno stanovení alkality provést ihned po odběru.

Výsledky se vyjadřují molární koncentrací $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ jako celková alkalita a zjevná alkalita. S výsledkem se uvádí způsob úpravy a čas, který uplynul od odběru vzorku do jeho zpracování.

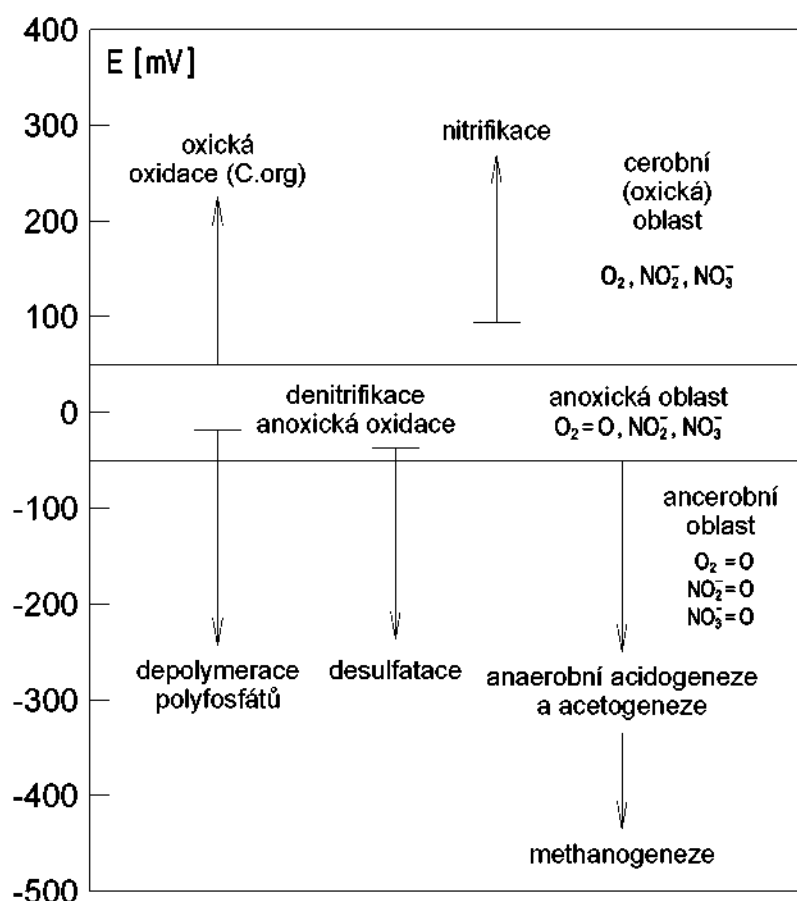
Základními charakteristikami při zkoumání struktury kyselin je C, H, N, O analýza, stanovení funkčních skupin (potenciometricky, spektrálně) a stanovení optických vlastností. Infračervená spektroskopie umožňuje kvalitativně vyhodnotit funkční skupiny a typy vazeb v molekule humínové kyseliny.

V současné době přispívá k poznání struktury humínových kyselin ^{13}C NMR spektroskopie. Umožňuje kvantitativní analýzu i určení jednotlivých typů uhlíku alifatických, aromatických, karboxylových a methoxylových struktur nacházejících se v molekule humínových kyselin [3].

3.1.3 Redox potenciál a fermentační procesy

Kyslík je považován za univerzální příčinu vysokého redoxního potenciálu v přírodě, proto bylo původní dělení procesů mikrobiálního rozkladu organických látek podle spotřeby kyslíku na aerobní a anaerobní v poslední době detailněji propracováno definováním rozsahů redoxních potenciálů, ve kterých tyto děje probíhají. V oxické oblasti (nad 50 mV), probíhají pochody oxidace organických látek a nitrifikace. Konečným akceptorem elektronů je kyslík. V anoxické oblasti (-50 mV až 50 mV) probíhá denitrifikace (anoxická oxidace a nitrátová respirace). Rozpuštěný kyslík není přítomen, v roztoku jsou však dusičnany a dusitany. Dusičnanový a dusitanový dusík slouží jako konečný akceptor elektronů. Pochody depolymerace polyfosfátů a desulfatace zde probíhají jenom v nepatrné míře.

Není-li přítomen rozpuštěný kyslík ani dusičnany či dusitany, probíhají reakce v oblasti zvané anaerobní (pod -50 mV). Probíhá zde depolymerace polyfosfátů, desulfatace, anaerobní acidogeneze a acetogeneze (viz. obrázek 12). K metanogenezi dochází až při -330 mV [3].



Obrázek 12: Hladiny redoxního potenciálu

3.1.4 Hustota substrátů

Hustota je u substrátů významnou veličinou, která umožňuje převádět objemové údaje na údaje hmotnostní a naopak, což je nepostradatelné např. při kontrole procesů a bilance výsledků. Je určena podílem hmotnosti a objemu. V důsledku tepelné roztažnosti látek má hustota při různé teplotě různou hodnotu, a proto se vždy v praxi, není-li předepsáno jinak, vztahuje k teplotě 20°C.

Ke stanovení se bere u kapalných a kašovitých látek dobře homogenizovaný vzorek, u pevných odpadů potom vzorek rozdrčený a rozemletý. Vzorky se nekonzervují a doporučuje se provést stanovení hustoty do 24 hodin po odběru vzorku.

Ke stanovení hustoty se používá přímé hmotnostní měření v kalem naplněném pyknometru nebo odměrné baňce známého objemu po případném doplnění vzorku substrátu vodou.

3.1.5 Vliv organických látek

Obsah organických látek a anorganický podíl se stanovují jako ztráta žíháním a jako zbytek po žíhání. Celkový obsah organické hmoty ve vzorku analyzovaného materiálu můžeme usuzovat v podstatě ze čtyř různých způsobů rozboru [47]:

- ztráty žíháním sušiny vzorku při 550°C,
- stanovením organického uhlíku mokřým spalováním,
- stanovením organického uhlíku elementární analýzou (spalováním za sucha),
- stanovením organického uhlíku nepřímou (oxidačně – odměrné stanovení).

Na základě rozboru vzorku je možné výpočtem pro dané experimentální uspořádání stanovit též podíl organických látek využitelných a inaktivních. Pod pojmem využitelné organické látky v substrátu rozumíme organické sloučeniny, které jsou relativně snadno mikrobiologicky rozložitelné. Jsou to např. polysacharidy, bílkoviny, lipidy, aj.

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) je definována jako množství kyslíku, které se za přesně vymezených uzančních podmínek spotřebuje na oxidaci organických látek ve vzorku substrátu silným oxidačním činidlem. Udává se jako hmotnost kyslíku, která je ekvivalentní spotřebě oxidačního činidla. Její hodnota je mírou celkového obsahu organických látek v substrátu.

Různé typy organických látek s různými oxidačními činidly a za různých reakčních podmínek (pH, teplota, čas a s užitím nejrůznějších katalyzátorů) oxidují do různého stupně. Proto metody na stanovení CHSK mají uzanční charakter a hodnoty získané při stanovení různými metodami nejsou obvykle porovnatelné. Např. ke stanovení CHSK substrátu oxidačním činidlem dichromanem draselným je uváděno označení CHSKCr [47].

3.1.6 Obsah nižších mastných kyselin

Obsah mastných kyselin je jedním z nejdůležitějších indikátorů procesu metanizace substrátů. Pro jejich stanovení jsou doporučovány metody alkalimetrické titrace po destilaci. Pro stanovení obsahu jednotlivých mastných kyselin byly vypracovány postupy využívající chromatografické metody.

Pokles pH, který patří k nejčastějším poruchám anaerobní fermentace, je obvykle způsoben hromaděním nižších mastných kyselin, k němuž dochází tehdy, když rychlost jejich tvorby v předmetanizační fázi je větší než rychlost jejich rozkladu metanogenezí. Těkavé mastné kyseliny, vzniklé v předmetanizační fázi, mají stimulační i inhibiční vliv. Stimulace se projevuje při malých koncentracích na růst celulolytických bakterií. K inhibici dochází tehdy, když anaerobní fermentací produkované kyseliny vyčerpají veškerou hydrogenuhlíčitánivou alkalitu a tím prakticky tlumivou kapacitu roztoku. V reaktoru se začnou objevovat vyšší mastné kyseliny a dochází k poklesu pH, které má za následek úplnou nebo částečnou inhibici procesu.

K nárůstu koncentrace těkavých kyselin dochází také při náhlém výrazném snížení teploty v reaktoru. Koncentrace se při průměrném zatížení reaktoru pohybuje do $0,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Pokud má prostředí dostatečnou pufrací kapacitu, pak se proces nezastavuje. Změna v obsahu mastných kyselin obvykle předchází ostatním změnám.

Ke stanovení nižších mastných kyselin se nejčastěji využívají alkalimetrické titrační metody. Při tomto způsobu stanovení jsou mastné kyseliny ze vzorku nejdříve separovány a potom teprve titračně stanovovány. Mastné kyseliny se destilují přímo (C_1 až C_4) nebo destilací s vodní parou (C_1 až C_6).

Kromě destilace je při analýze k separaci mastných kyselin ze vzorku používána i extrakce organickým rozpouštědlem butanol – chloroform. Extrahuje se eluční technikou sloupcové chromatografie na silikagelu. Vyextrahované mastné kyseliny jsou odměrnou alkalimetrickou titrací stanoveny v uvedeném organickém rozpouštědle.

Pro přímé stanovení veškerých mastných kyselin ve vzorku substrátu je doporučována potenciometrická metoda. Je založena na alkalimetrické titraci mastných kyselin přímo ve vzorku standardním roztokem hydroxidu, v intervalu pH 4,0 až 7,0 [16].

Pro stanovení obsahu jednotlivých mastných kyselin v substrátech při metanizaci vod je doporučována metoda plynové chromatografie [58].

3.1.7 Tlumící kapacita substrátu

Tlumící kapacita substrátu je dána především systémem $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^-$ s NH_4^+ . Při vyšší koncentraci alifatických kyselin se stávají podstatnou složkou tlumícího systému též soli těchto kyselin. Dalšími složkami tlumícího systému jsou fosfáty, sulfan atd., jejich vliv však není rozhodující. Kapacita tlumícího systému je závislá na složení a koncentraci substrátu a na průběhu metanizace, kdy vznikají a spotřebovávají se alifatické kyseliny a oxid uhličitý. Substráty s vysokým obsahem bílkovin zvyšují alkalitu, což je způsobeno tvorbou amoniaku z bílkovin.

Substráty bohaté na sacharidy snižují alkalitu, protože při jejich rozkladu vzniká značné množství oxidu uhličitého.

Neutralizační kapacita substrátu je definována jako jeho schopnost vázat určité látkové množství kyseliny (kyselinová neutralizační kapacita) nebo zásady (zásadová neutralizační kapacita) do zvolené hodnoty pH. Je integrálem tlumivé kapacity substrátu v daném rozmezí. Stanovuje se titrací substrátu silnou kyselinou nebo zásadou. Jde tedy o spotřebované látkové množství vodíkových, resp. hydroxidových iontů vztažené k titrovanému objemu vzorku. U většiny vzorků je nejvhodnější stanovit celý průběh titrační křivky, z níž lze odečíst podle spotřeby údaje o neutralizační kapacitě do libovolné hodnoty pH [21].

3.1.8 Složení bioplynu

Bioplyn se skládá převážně z metanu a oxidu uhličitého, menšího množství vodíku, dusíku a sulfanu. Při výstupu z metanizačního reaktoru může obsahovat určité množství vody (3 % až 4 %), stopová množství amoniaku a alifatických kyselin.

Bioplyn obsahuje podle druhu anaerobně zpracovávaného substrátu a reakčních podmínek různé množství metanu. Pokud fermentační proces probíhá při optimálních podmínkách obsahuje bioplyn obvykle 50 % až 70 % objemu metanu. Další významnou složkou je oxid uhličitý. Pokud je proces proveden za nevhodných podmínek nebo je umožněn částečný přístup kyslíku, zvyšuje se obsah CO_2 a objemové procento metanu se naopak snižuje. Další složky bioplynu (N_2 , H_2 , H_2S , případně stopy O_2) tvoří dohromady více než 3 – 6 objemových procent.

Metan, který je hlavní součástí bioplynu, je bezbarvý plyn bez zápachu, se vzduchem tvoří výbušnou směs. Je lehčí než vzduch, ale bioplyn, tj. směs metanu a oxidu uhličitého, je těžší než vzduch. Přestože obě složky jsou bez zápachu, obsahuje bioplyn malé množství nečistot, zejména sulfanu a merkaptanů, které mu dávají charakteristický zápach.

Rychlost produkce bioplynu a změny jeho složení jsou jedním z nejlepších indikátorů průběhu procesu. Při dobré (ustálené) funkci reaktoru má produkce bioplynu odpovídat zatížení reaktoru a složení plynu má být konstantní.

Zvýšení koncentrace vodíku je vážným znamením porušení rovnováhy metabolických procesů. Náhlé zvýšení koncentrace CO_2 v bioplynu je způsobeno buď nízkým pH substrátu vstupujícího do reaktoru nebo vysokou produkcí mastných kyselin a většinou je předzvěstí poruchy.

Snížení produkce metanu je známkou inhibice metanogenních bakterií. Proto je nutná průběžná kontrola procesu [56].

Stanovení objemu bioplynu se provádí měřením plynoměrem, obsah CO_2 se stanoví potenciometricky, obsah metanu interferometricky. Moderní metody využívají plynovou chromatografii nebo v našem případě plameno-ionizační detektor (FID).

Při využívání bioplynu jsou kladeny požadavky na jeho čistotu, především obsah sulfanu a také oxidu uhličitého. Sulfan působí velice korozivně, navíc spalováním se oxiduje na škodlivý oxid siřičitý. K jeho odstranění se užívá suchých způsobů (hydratovaný oxid železitý, aktivní uhlí, zeolity) i způsobů mokrých (praní v alkalických roztocích, organických rozpouštědlech, chelatonátech).

Oxid uhličitý se odstraňuje vypíráním tlakovou vodou, sorpcí v alkalických roztocích a separací na selektivních membránách, nebo je ponecháván.

Vysoký obsah metanu a tím i vysoká výhřevnost ($17,8 - 25 \text{ MJ.m}^{-3}$) řadí bioplyn mezi ušlechtilé zdroje energie. Částečně upravený bioplyn bývá využíván k vyhřívání. Vyčištěný bioplyn (metan) je ušlechtilým univerzálním palivem. Ve srovnání s benzínem je jeho výhodou nižší obsah škodlivin (např. při použití metanu jako paliva pro zážehové spalovací motory) [56].

3.2 Kinetika biochemických procesů

Mikrobiální anaerobní rozklad je soubor dílčích, na sebe navazujících biologických procesů, na kterých se podílí několik základních funkčních skupin anaerobních mikroorganismů. Rozklad organických látek až na konečné produkty – metan a oxid uhličitý – vyžaduje jejich koordinovanou metabolickou součinnost [32]. Produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává substrátem skupiny druhé a proto nedostatečná aktivita jen jedné skupiny může způsobit porušení dynamické rovnováhy v celém systému a snížení účinnosti procesu [59].

Anaerobní proces je složitý, a proto je vhodné jej podle optimální reakce prostředí (pH), podle výchozích látek a konečných produktů rozdělit na dvě fáze „předmetanizační“ a „metanizační“. V předmetanizační fázi probíhají skupinové procesy, ve kterých jsou komplexní organické sloučeniny postupně mikrobiálně rozkládány na nízkomolekulární látky jak striktně, tak fakultativně, anaerobními skupinami mikroorganismů. Takto vzniklé jednoduché látky se mohou stát přímým substrátem pro metanogenní bakterie [23].

3.2.1 Hlavní procesy anaerobního rozkladu

Hydrolyza – první stádium rozkladu. Jsou rozkládány makromolekulární rozpuštěné i nerozpuštěné organické látky (polysacharidy, lipidy, proteiny) na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě pomocí extrakce celulárních hydrolytických enzymů, produkovaných hlavně fermentačními bakteriemi. Vznikající nízkomolekulární látky jsou na rozdíl od vysokomolekulárních schopny transportu dovnitř buňky [59].

Acidogeneze – produkty hydrolyzy. Nízkomolekulární látky jsou uvnitř buňky rozkládány dále na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, oxid uhličitý, molekulární vodík). Fermentací těchto látek se tvoří řada konečných redukováných produktů, které jsou závislé na charakteru počátečního substrátu a na podmínkách prostředí. Při nízkém parciálním tlaku vodíku jsou produkovány kyselina octová, molekulární vodík, oxid uhličitý, při vyšších jsou tvořeny vyšší organické kyseliny, mléčná kyselina, ethanol apod. [59].

Acetogeneze – v tomto stádiu rozkladu probíhá oxidace látek vytvořených při acidogenezi na molekulární vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou. Syntrofní acetogenní mikroorganismy produkující vodík jsou zde velmi důležitou mikrobiální skupinou, protože rozkládají organické kyseliny vyšší než octovou (hlavně propionovou kyselinu), alkoholy a některé aromatické sloučeniny. Jejich těsná součinnost s dalšími skupinami mikroorganismů, které spotřebovávají jimi tvořený vodík (metanogeny, sulfátredukující bakterie) je pro ně nezbytná. Přebytek vodíku v systému totiž inhibuje činnost těchto acetogenních mikroorganismů a tím i celého systému [59].

Metanogeneze – poslední stádium rozkladu. Metanogenní mikroorganismy rozkládají pro ně přijatelné substráty, což jsou některé jedno uhlíkaté látky (metanol, kyselina mravenčí, methylaminy, oxid uhličitý, oxid uhelnatý, molekulární vodík) a z více uhlíkatých pouze kyselina octová. Produkty rozkladu jsou metan a oxid uhličitý [59].

3.2.2 Produkce metanu

Hydrolytické a fermentační (acidogenní) mikroorganismy jsou nejrychleji rostoucí a nejodolnější vůči změnám podmínek. Acetogenní mikroorganismy produkující vodík jsou silně závislé na jeho přítomnosti v prostředí, je pro ně nežádoucím meziproduktem, protože inhibuje jejich růst a metabolismus redukcí vnitrobuněčných elektronových přenašečů. Proto jsou důležitá jejich stabilní metabolická společenství s hydrogenotrofními mikroorganismy, které vodík spotřebovávají a zvyšují termodynamickou účinnost reakcí.

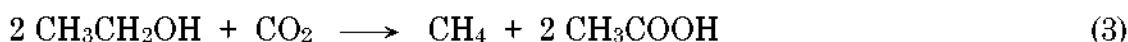
Metanogenní mikroorganismy jsou nejdůležitější trofickou skupinou, protože dokončují anaerobní rozklad až na metan a oxid uhličitý, ale mají vysoce specifické požadavky na substrát i životní podmínky a vedle acetogenů zpracovávajících kyselinu propionovou se často stávají limitujícím faktorem celého procesu. Acetotrofní metanogenní bakterie většinou převažují, jejich působením vznikají více jak dvě třetiny metanu v bioplynu. Rozkládají kyselinu octovou na směs metanu a oxidu uhličitého. Jsou schopny udržovat pH fermentačního media, protože odstraňují kyselinu octovou a produkují CO₂, ale ve srovnání s hydrogenotrofními metanogeny pomaleji rostou (generační doba až 2 dny). Hydrogenotrofní metanogenní bakterie produkují metan z vodíku a oxidu uhličitého a z dalších jednouhlíkatých substrátů. Rostou poměrně rychle, jejich generační doba je cca 6 hodin [59].

Tvorba metanu je komplexní proces, jehož se účastní několik skupin bakterií. Vývoj plynu lze popsat dvěma typy reakcí [23]:

a) bez redukce a využití oxidu uhličitého



b) s redukcí a využitím oxidu uhličitého jako akceptoru vodíku



Rychlost produkce metanu v anaerobních reaktorech je často omezována rychlostí destrukce biologicky rozložitelných polymerů a účinností metabolické interakce mezi hydrolytickými bakteriemi a dalšími skupinami anaerobního ekosystému [23].

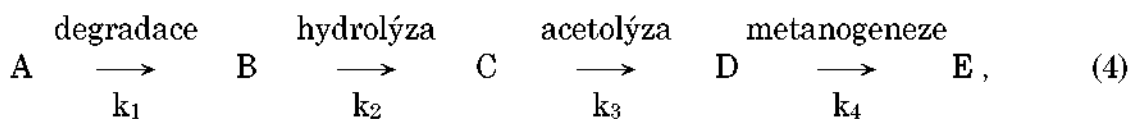
3.2.3 Modelování fermentačního procesu

Jak bylo uvedeno, obecně probíhá anaerobní rozklad ve čtyřech fázích. Proto se budeme dále zabývat matematickým modelem čtyřstupňového rozkladu.

Matematickou simulaci anaerobního rozkladu amarantového zbytku provedeme v krocích:

- degradace,
- hydrolýza,
- acetolýza,
- metanogeneze.

Kroky lze zapsat následujícím vzorcem:



kde k_1, k_2, k_3, k_4 jsou rychlostní konstanty jednotlivých následných reakcí. V prvním přiblížení budeme u všech reakcí uvažovat mechanismus prvního řádu.

Za uvedeného předpokladu dostaneme následující systém diferenciálních rovnic:

$$\frac{dc_A}{d\tau} = k_1 c_A \quad (5)$$

$$\frac{dc_B}{d\tau} = k_1 c_A - k_2 c_B \quad (6)$$

$$\frac{dc_C}{d\tau} = k_2 c_B - k_3 c_C \quad (7)$$

$$\frac{dc_D}{d\tau} = k_3 c_C - k_4 c_D \quad (8)$$

$$\frac{dc_E}{d\tau} = k_4 c_D \quad (9)$$

Rovnice (5, 6, 7, 8, 9) zapíšeme jako maticovou rovnici (10):

$$\begin{bmatrix} \dot{c}_A \\ \dot{c}_B \\ \dot{c}_C \\ \dot{c}_D \\ \dot{c}_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_1 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 & -k_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_4 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_A \\ c_B \\ c_C \\ c_D \\ c_E \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\dot{C} = A \cdot C \quad (11)$$

Rovnice (11) je vektorová diferenciální rovnice s následujícími počátečními podmínkami (12):

$$\begin{bmatrix} c_A(0) \\ c_B(0) \\ c_C(0) \\ c_D(0) \\ c_E(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{A0} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = C(0) = C_0 \quad (12)$$

Vektorová diferenciální rovnice (11) s okrajovou podmínkou (12) představuje lineární model. Z tohoto důvodu ji výhodné řešit Laplaceovou transformací.

Pro Laplaceův obraz vektoru $C(\tau)$ zavedeme označení:

$$c_L = \int_0^{\infty} c(\tau) \cdot e^{-s\tau} d\tau \quad (13)$$

Po Laplaceově transformaci na rovnici (11) dostaneme rovnici (14):

$$sC_L - C_0 = A \cdot C_L \quad (14)$$

Pro C_L platí rovnice (15):

$$C_L = (sI - A)^{-1} \cdot C_0 \quad (15)$$

I je jednotková matice a pro $(sI - A)$ platí rovnice (16):

$$(sI - A) = \begin{bmatrix} s+k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & s+k_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_L & s+k_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & s+k_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & s \end{bmatrix} \quad (16)$$

Matice v rovnici (16) je dolní trojúhelníková matice. V tomto případě je možno použít zjednodušený algoritmus prvků její inverzní matice tak, že konečný výsledek pro Laplaceův obraz řešení vektorové diferenciální rovnice (11) lze zapsat rovnicí (17) [14]:

$$C_L = (sI - A)^{-1} C_0 = \begin{bmatrix} \frac{c_{A0}}{s+k_1} \\ \frac{k_1 c_{A0}}{(s+k_1)(s+k_2)} \\ \frac{k_2 k_1 c_{A0}}{(s+k_3)(s+k_2)(s+k_1)} \\ \frac{k_3 k_2 k_1 c_{A0}}{(s+k_4)(s+k_3)(s+k_2)(s+k_1)} \\ \frac{k_4 k_3 k_2 k_1 c_{A0}}{(s+k_4)(s+k_3)(s+k_2)(s+k_1)} \end{bmatrix} \quad (17)$$

K určení jednotlivých prvků originálu matice C použijeme zpětné Laplaceovy transformace:

$$L^{-1}\left\{\frac{f(s)}{F(s)}\right\} = \sum_{i=1}^n \lim_{s \rightarrow s_i} \frac{e^{s_i \tau} (s - s_i)}{F'(s)}, \quad (18)$$

kde s_n jsou kořeny rovnice $F(s) = 0$. S využitím rovnice (18) získáme časové profily pro jednotlivé koncentrace výchozí složky produktu a meziproduktů:

$$c_A = c_{A0} e^{-k_1 \tau} \quad (19)$$

$$c_B = \frac{c_{A0} k_1}{k_1 - k_2} (e^{k_1 \tau} - e^{-k_1 \tau}) \quad (20)$$

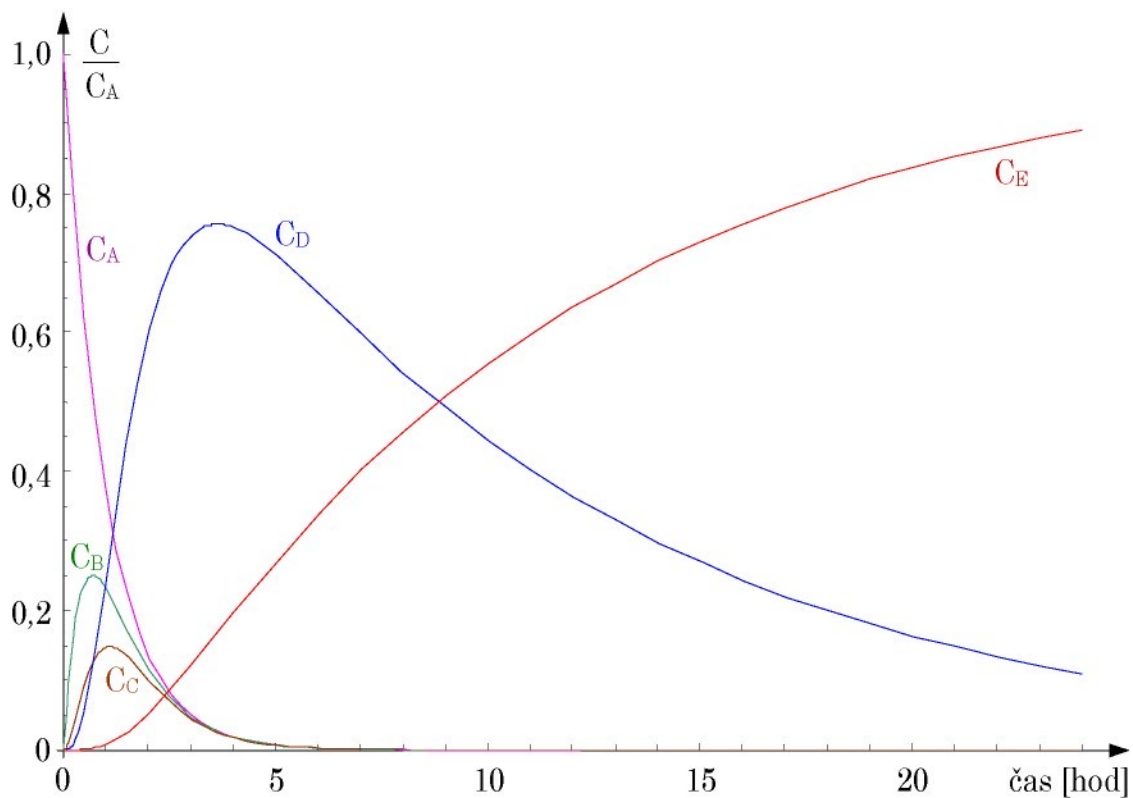
$$c_C = c_{A0} k_1 k_2 \left[\frac{e^{-k_1 \tau}}{(k_3 - k_1)(k_2 - k_1)} + \frac{e^{-k_2 \tau}}{(k_3 - k_2)(k_1 - k_2)} + \frac{e^{-k_3 \tau}}{(k_2 - k_3)(k_1 - k_3)} \right] \quad (21)$$

$$c_D = k_3 k_2 k_1 c_{A0} \left[\frac{e^{-k_4 \tau}}{(k_2 - k_4)(k_1 - k_4)(k_3 - k_4)} + \frac{e^{-k_2 \tau}}{(k_4 - k_2)(k_3 - k_2)(k_1 - k_2)} \right] + \left[\frac{e^{-k_3 \tau}}{(k_4 - k_3)(k_2 - k_3)(k_1 - k_3)} + \frac{e^{-k_1 \tau}}{(k_4 - k_1)(k_3 - k_1)(k_2 - k_1)} \right] \quad (22)$$

$$c_E = 1 + k_4 k_3 k_2 k_1 c_{A0} \left[\frac{e^{-k_4 \tau}}{-k_4 (k_3 - k_4)(k_2 - k_4)(k_1 - k_4)} + \frac{e^{-k_3 \tau}}{-k_3 (k_4 - k_3)(k_2 - k_3)(k_1 - k_3)} \right] + \left[\frac{e^{-k_2 \tau}}{-k_2 (k_4 - k_2)(k_3 - k_2)(k_1 - k_2)} + \frac{e^{-k_1 \tau}}{-k_1 (k_4 - k_1)(k_3 - k_1)(k_2 - k_1)} \right] \quad (23)$$

Rovnice (19, 20, 21, 22, 23) představují časový průběh koncentrace výchozího materiálu (amarantového zbytku), meziproduktů a konečného produktu (bioplynu).

Rovnice (19, 20, 21, 22, 23) umožňují simulační výpočet kinetických křivek. Grafický průběh jednotlivých koncentrací v závislosti na čase ukazuje následující obrázek (obrázek 13).



Obrázek 13: Časová závislost koncentrací výchozí látky, meziproduktů a výchozího produktu u čtyřstupňového modelu

Parametry výpočtu:

$$k_1 = 1$$

$$k_2 = 2$$

$$k_3 = 3$$

$$k_4 = 0,5$$

3.3 Metody měření fyzikálně chemických veličin

3.3.1 Měření teploty

Teplota je jednou z nejdůležitějších veličin, která ovlivňuje téměř všechny stavy a procesy v přírodě. Při měření teploty se obecně měří jiná veličina, která je na teplotě závislá podle určitého vztahu, který lze číselně vyjádřit. K měření teploty se užívá celé řady funkčních principů (tabulka 5). Důležitým faktorem, který zásadně ovlivňuje měření, je správná volba teploměru a jeho vhodné zakomponování do sledovaného procesu (eliminace nebo maximální potlačení rušivých vlivů na údaj snímače) [54].

Tabulka 5: Druhy a principy teploměrů [88]

Skupina teploměrů	Typ teploměru	Fyzikální princip	Teplotní rozsah [°C]	
Dilatační teploměry	plynový	změna tlaku	–5	+500
	tenzní	změna tenze par	–40	+400
	kapalinový	změna objemu	–200	+750
	kovový	délková roztažnost	0	+900
Elektrické teploměry	termoelektrické	termoelektrický jev	–200	+1700
	odporové kovové	změna elektrického odporu	–250	+1000
	polovodičové termistory	změna elektrického odporu	–200	+500
	didové	změna prahového napětí	–200	+400
Speciální teploměry	teploměrná tělíska	bod tání	+100	+1300
	teploměrné barvy	změna barvy	+20	+1000
	kapalné krystaly	změna orientace	0	+300
Bezdotykové teploměry	širokopásmové pyrometry	zachycení veškerého teplotního záření	–40	+5000
	monochromatické pyrometry	zachycení úzkého svazku záření	+100	+3000
	poměrové pyrometry	srovnání dvou svazků teplotního záření o různé vlnové délce	+700	+2000
	termovize	snímání teplotního obrazu tělesa	–30	+1200

Zaměříme se především na elektrické teploměry, čidla s elektrickým výstupním signálem a s rozsahem a rozlišením vyhovující pro měření teploty ve fermentorech.

Termoelektrické senzory teploty

Termoelektrická čidla teploty (termočlánky) patří mezi kontaktní senzory, které jsou založeny na Seebeckově jevu. V technické praxi jsou často používány pro svoji jednoduchost, spolehlivost a odolnost. Materiál na výrobu termočlánků by měl mít tyto vlastnosti:

- co největší a lineární přírůstek termoelektrického napětí s teplotou,
- odolnost proti chemickým a mechanickým vlivům.

Těmto požadavkům vyhovuje jen několik dvojic materiálů a jejich složení je normalizováno ve směrnici IEC 584–1. Tato norma obsahuje tabulky základních hodnot termoelektrického napětí jednotlivých termočlánků a vzorce pro výpočet jejich přesných charakteristik. Tím, že složení termočlánku je normalizováno, lze u stejně označených termočlánků od různých výrobců očekávat identické chování. V tabulce (tabulka 6) jsou uvedeny nejčastěji používané termočlánky.

Tabulka 6: Používané termočlánky a jejich parametry [88]

termočlánek	složení	rozsah [°C]		termoelektrické napětí [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$]
		min	max	
Cu–Ko (T)	100 % Cu – 55 % Cu 45 % Ni	–200	500	42,5
Fe–Ko (J)	100 % Fe – 55 % Cu 45 % Ni	–200	1000	53,7
NiCr–Ni (K)	85 % Ni 15 % Cr – 100 % Ni	0	1300	40
NiCr–Ko (E)	85 % Ni 15 % Cr – 55 % Cu 45 % Ni	0	500	62,1
PtRh–Pt (S)	90 % Pt 10 % Rh – 100 % Pt	0	1600	6,4
PtRh30–PtRh6 (B)	70 % Pt 30 % Rh – 94 % Pt 6 % Rh	120	1800	5,2

Pro správnou funkci senzoru je nutné zajistit, aby teplota srovnávacího místa byla konstantní (např. směs voda–led) nebo je nutné teplotu měřit (například linearizovaným polovodičovým termistorem v teplotním intervalu 10°C až 50°C).

Je výhodné používat pár termočlánků Cu–Ko. Vodič z konstantanu je pak veden pouze mezi měřicím a srovnávacím přechodem a od samotného páru vedou měděné vodiče. Je třeba si uvědomit, že pokud bude uspořádání jiné, vzniknou další nechtěné termočlánky (například na svorkovnicích) [54].

Odporové kovové senzory teploty

Odporové senzory teploty patří mezi pasivní senzory tzn. negenerují sami o sobě žádný elektrický signál, ale s teplotou se u nich mění elektrický odpor, který jsme schopni měřit. Při měření odporu dochází vlivem protékajícího proudu k ohřívání senzoru a možnému zkreslení výsledků měření. Z důvodu minimalizace tohoto jevu je vhodné použít co nejnižší měřicí proudy.

Fyzikálně jsou tyto senzory založeny na teplotní závislosti elektrického odporu kovů. Principiálně je možné použít libovolný kov (měď, hliník, železo). Reálně je v technické praxi používáno několik málo čistých kovů, zejména platina a nikl. Tyto dva kovy jsou technologicky vhodné pro výrobu čidla a jejich teplotní závislost je téměř lineární. U platiny je v běžném teplotním rozsahu nelinearita závislosti odporu na teplotě v podstatě téměř nepostřehnutelná. U niklu je vhodné uvažovat polynom druhého řádu, výhodou je však vyšší citlivost ve srovnání s platinou [88].

Polovodičové odporové teploměry

Tyto senzory teploty využívají teplotní závislosti odporu polovodiče. Na rozdíl od kovových odporových senzorů je jejich přechodová charakteristika silně nelineární. Oproti těmto senzorům mají vyšší citlivost, lepší dynamické vlastnosti a jsou výrobně levnější. Vzhledem k značným výrobním tolerancím je problematické zajistit záměnnost čidla, a proto je nutné při výměně senzoru zajistit jeho kalibraci. Další negativní vlastností polovodičových teploměrů je časová nestálost polovodiče a v případě vyšších nároků na přesnost z toho vyplývající nutnost recalibrace senzoru po určitém časovém období. Polovodičové odporové teploměry se dělí do dvou základních skupin:

- NTC termistory (negastory),
- PTC termistory (pozistory).

NTC termistory vykazují záporný teplotní součinitel odporu, což znamená, že s rostoucí teplotou jejich elektrický odpor klesá. Pro popis nelineární závislosti odporu NTC termistoru na teplotě je často používána funkce (24).

$$R = R_0 \cdot e^{-B \left(\frac{1}{T_0} + \frac{1}{T} \right)} \quad (24)$$

Parametr B je materiálovou konstantou termistoru NTC.

PTC termistory

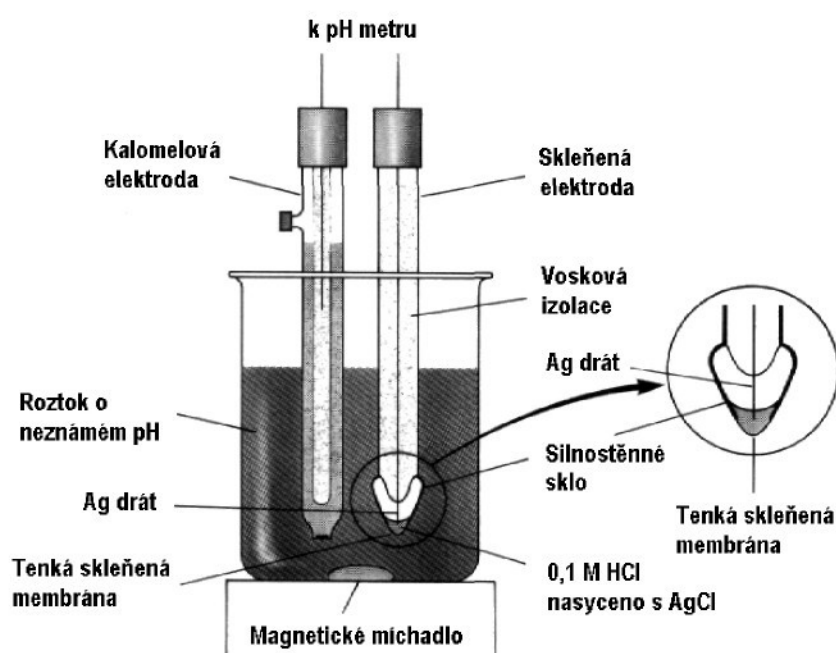
Tyto senzory se zpravidla používají k dvoustavové indikaci teploty (např. signalizace překročení provozní teploty), neboť po dosažení určité kritické teploty jejich odpor prudce stoupá. Před dosažením kritické teploty čidlo vykazuje mírně záporný teplotní koeficient. Senzory se vyrábějí z polykrytalické feroelektrické keramiky např. BaTiO_3 [54].

3.3.2 Měření pH a oxidačně redukčního potenciálu

Vodíkový exponent pH je symbol pro vyjadřování koncentrace vodíkových iontů v roztoku. Určuje míru kyselosti nebo zásaditosti roztoku. Je definován jako záporná hodnota dekadického logaritmu aktivity oxionových iontů ($\text{pH} = -\log a_{\text{H}_3\text{O}^+}$).

Neutrální roztoky mají pH 7, kyselé roztoky mají pH menší než 7, zásadité pak větší než 7. K rychlému a přibližnému stanovení pH se v laboratořích používají indikátory nebo těmito indikátory nasycené reagenční papírky. Indikátory jsou látky, které při určitém pH mění zbarvení.

Přístroje na měření pH odvozují tuto veličinu z napětí článku sestaveného ze dvou elektrod ponořených do zkoumaného roztoku (obrázek 14). Potenciál indikační elektrody se mění s aktivitou stanoveného iontu dle Nernstovy rovnice, potenciál srovnávací (referenční) elektrody musí být naopak stálý.



Obrázek 14: Potenciometrické měření pH [49]

Elektrody pro měření pH

Nejčastěji používané indikační elektrody: antimonová elektroda (pro pH 2 až 7), skleněná elektroda (pro pH 0 až 9). Vzniklý potenciál vztahujeme ke srovnávací kalomelové elektrodě.

K usnadnění manipulace s elektrodami a zlepšení definovanosti podmínek měření se vyrábí elektrody jako kombinované, tj. v jednom pouzdře je obsažena elektroda indikační i srovnávací [20].

Elektrody pro měření oxidačně redukčního potenciálu

Oxidačně redukční potenciál (φ) je míra oxidační nebo redukční schopnosti roztoku. Oxidačně redukční potenciál se měří elektrodou z ušlechtilého kovu (platiny, zlata) ponořenou do měřeného roztoku [20].

Měření napětí

Skleněné elektrody mají slabý kontakt s roztokem a tedy značný odpor, řádově $10^6 \Omega$ až $10^8 \Omega$. K měření napětí článku s takovýmto vnitřním odporem je tedy nutné používat přístroje se vstupní impedancí vyšší než $10^{12} \Omega$ (v současné době běžně $10^{13} \Omega$).



Obrázek 15: Blokové schéma pH-metru

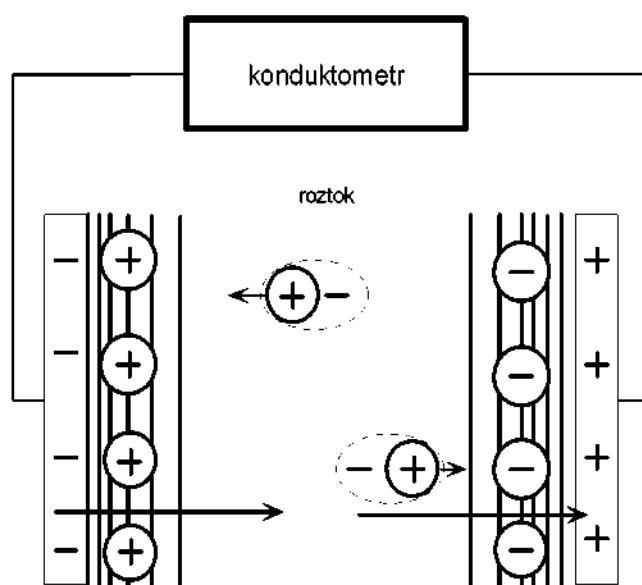
Většina přístrojů je v kombinovaném provedení jako pH/mV-metr, novější na bázi A/D převodníku typu ICL 7106 či lepším. Na vstupu je vždy impedanční převodník s JFET operačním zesilovačem (obrázek 15).

Konstrukce pH-metrů je podle účelu použití od kapesních, přes přenosné, stolní až po provozní průmyslová provedení. Většina přístrojů měří i teplotu roztoků.

3.3.3 Měření elektrické vodivosti roztoků

Elektrický proud je v roztocích přenášen ionty rozpuštěného elektrolytu. Vodivost je závislá na koncentraci, rychlosti pohybu a počtu iontů, které přenášejí náboj. Jednotkou vodivosti je S (simens). Vodivost roztoků je zjišťována pomocí elektrod, na které je přivedeno střídavé napětí. V analýze se vodivosti nejčastěji využívá ke zjišťování koncentrace (přímá konduktometrie) a k indikaci bodu ekvivalence (konduktometrická titrace).

Konduktometrická (vodivostní) měření se užívají v případech, pokud sledovaná složka vzorku výrazně ovlivňuje vodivost roztoku. Měření vychází z principu elektrické vodivosti, která je základní vlastností elektrolytů, tj. elektrický proud je v roztocích mezi elektrodami přenášen migrací všech přítomných iontů (obrázek 16). Elektrická vodivost roztoku je tedy veličinou, která je ovlivněna koncentrací, elektrickým nábojem a pohyblivostí iontů.



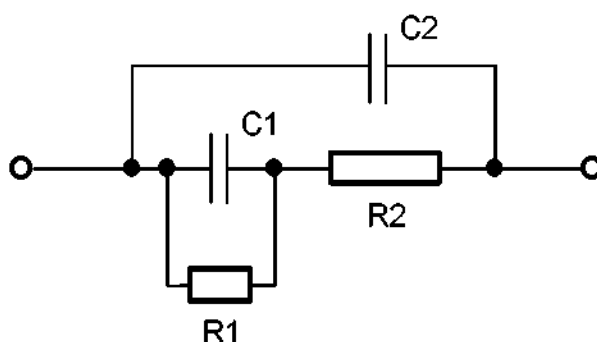
Obrázek 16: Měření vodivosti

Stanovit koncentraci roztoku na základě přímého měření vodivosti je možné jen tehdy, když je složení roztoku známé a konstantní. Jedná-li se o roztok jen jedné látky, je možné stanovit koncentraci v širokém koncentračním rozmezí, kdy platí lineární závislost měřené vodivosti na koncentraci [49]. Kalibrační křivka se sestavuje na základě roztoků o známé koncentraci. V průmyslové praxi se přímá konduktometrie používá při rychlém stanovení celkového obsahu rozpuštěných solí ve vodě, např. určování celkového obsahu minerálních látek v surovinách.

Uspořádání elektrod

Elektrody jsou dnes vždy integrované do sondy. Rozměry ploch elektrod i okolní nevodivé stěny zásadním způsobem ovlivňují sledované veličiny (napětí, proud) a parametry náhradního obvodu (obrázek 17).

Většina přístroje automaticky přepočítává naměřenou hodnotu na vodivost roztoku v krychli $1 \times 1 \times 1$ cm. Uvažuje se i vliv teploty a proto většina konduktometrů měří současně teplotu roztoku (přepočet na 20°C nebo 25°C).



Obrázek 17: Elektrický náhradní obvod soustavy elektroda–roztok–elektroda [49]

Elektrické parametry

Na elektrody je přiveden střídavý sinusový proud. Podle frekvence proudu se rozlišuje konduktometrie nízkofrekvenční (50 Hz až 10 kHz) a vysokofrekvenční (řádově 10 MHz). Vysokofrekvenční konduktometrie vyhodnocuje reálnou i imaginární složku impedance soustavy a proto je možné provést více korekcí při přepočtu na krychli $1 \times 1 \times 1$ cm.

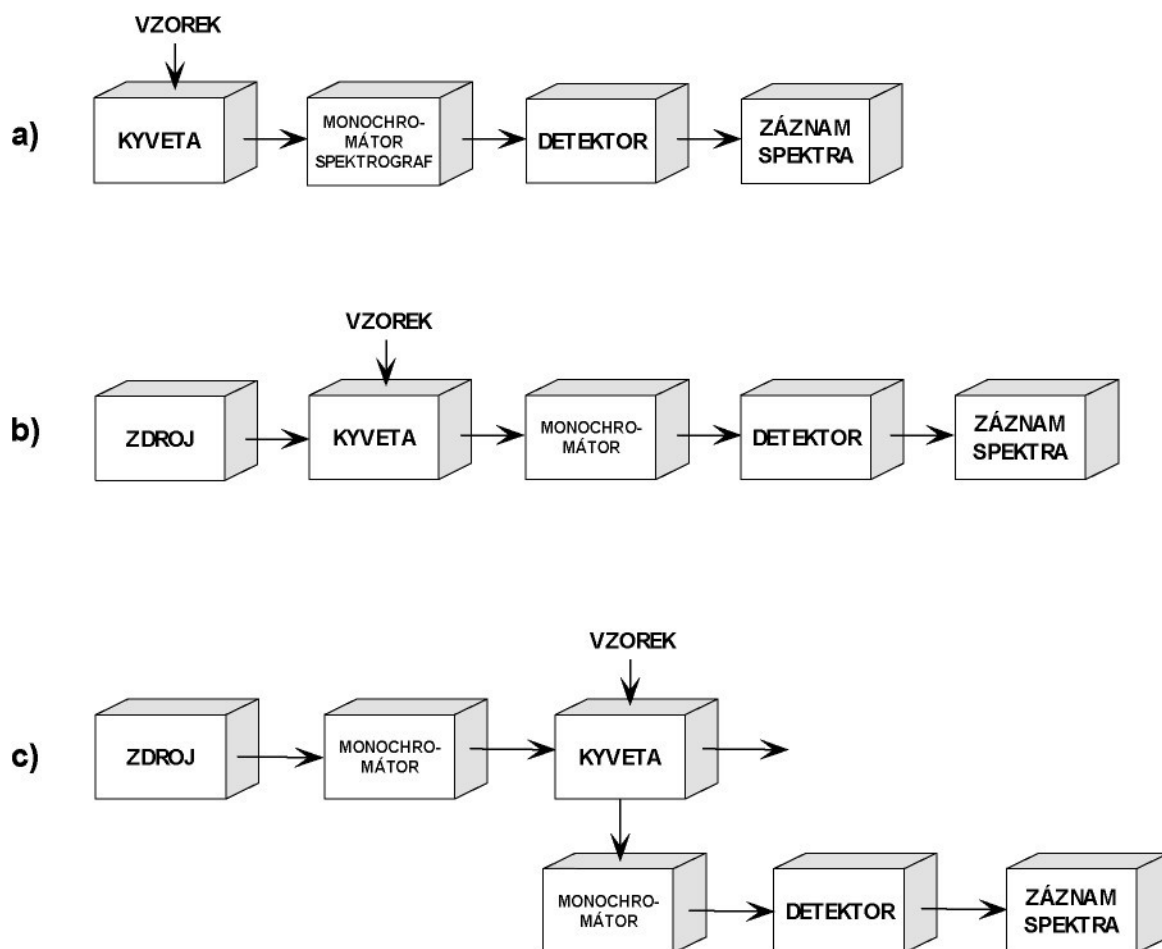
3.3.4 Absorbční spektrofotometrie

Absorbční spektrofotometrie je metoda měření zářivého toku propuštěného nebo pohlceného soustavou v závislosti na vlnové délce elektromagnetického záření. Pomocí spektrofotometrů se vyhodnocují absorbční spektra čistých látek nebo i několika složkových roztoků kvalitativně i kvantitativně. Graf závislosti extinkčního koeficientu (nebo jeho logaritmu) na vlnové délce se nazývá extinkční (barevná) křivka. Spektrografy se podle konstrukce rozlišují na spektrografy pro viditelnou oblast spektra (skleněná optika), pro ultrafialovou a viditelnou oblast (křemenná optika). Při analytických spektrofotometrických měřeních se dává přednost postupu, kde se do chodu paprsků vkládá kyveta s čistým rozpouštědlem (kalibrace), pak se do chodu paprsků přidá kyveta s měřeným roztokem a odečítá se absorbance nebo transmise. Látkou neabsorbované záření dopadá na detektor, který přeměňuje zářivou energii na elektrický signál. Odečtený signál musí být v definovaném vztahu k zářivému toku paprsků dopadajících na detektor, a tím i k absorpci, aby bylo možno využít lineárního vztahu této veličiny ke koncentraci (Lambert–Beerův zákon).

Základní principy spektrofotometrických měření

Světelný paprsek nesoucí energii je emitován ze zdroje, vstupuje do jednoho nebo postupně do několika prostředí, vystupuje a dopadá na detektor, kde je indikován. Na této cestě může být paprsek absorbován, popřípadě znovu reemitován, může dojít ke změně v jeho původním směru následkem lomu, odrazu či ohybu, nebo může být částečně nebo úplně polarizován. Podle povahy sledovaného jevu rozlišujeme jednotlivé metody. Jde především o metody emisní a absorpční spektroskopie, refraktometrie a polarimetrie [20].

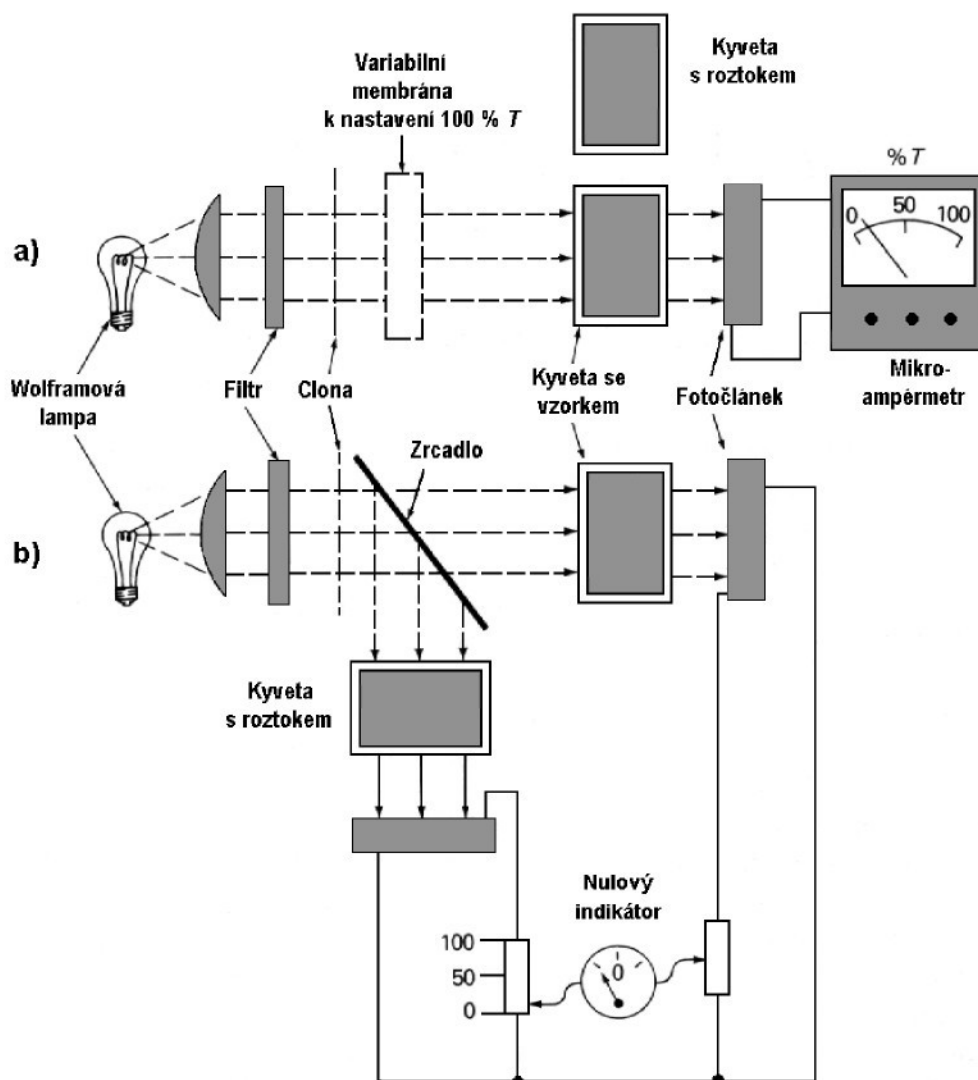
Každé spektrální měření vyžaduje vhodný zdroj záření, monochromátor a detektor jednotlivých vlnových délek. Detektor je obdobný při měření v ultrafialové i viditelné oblasti a při sledování emise i absorbance. Měření emise se registrují signály vysílané přímo zářícími částicemi roztoku [49]. Tři základní spektrofotometrická měření znázorňuje následující obrázek (obrázek 18).



Měření spekter: a) spontánní emise
b) absorbance
c) fotoluminiscence

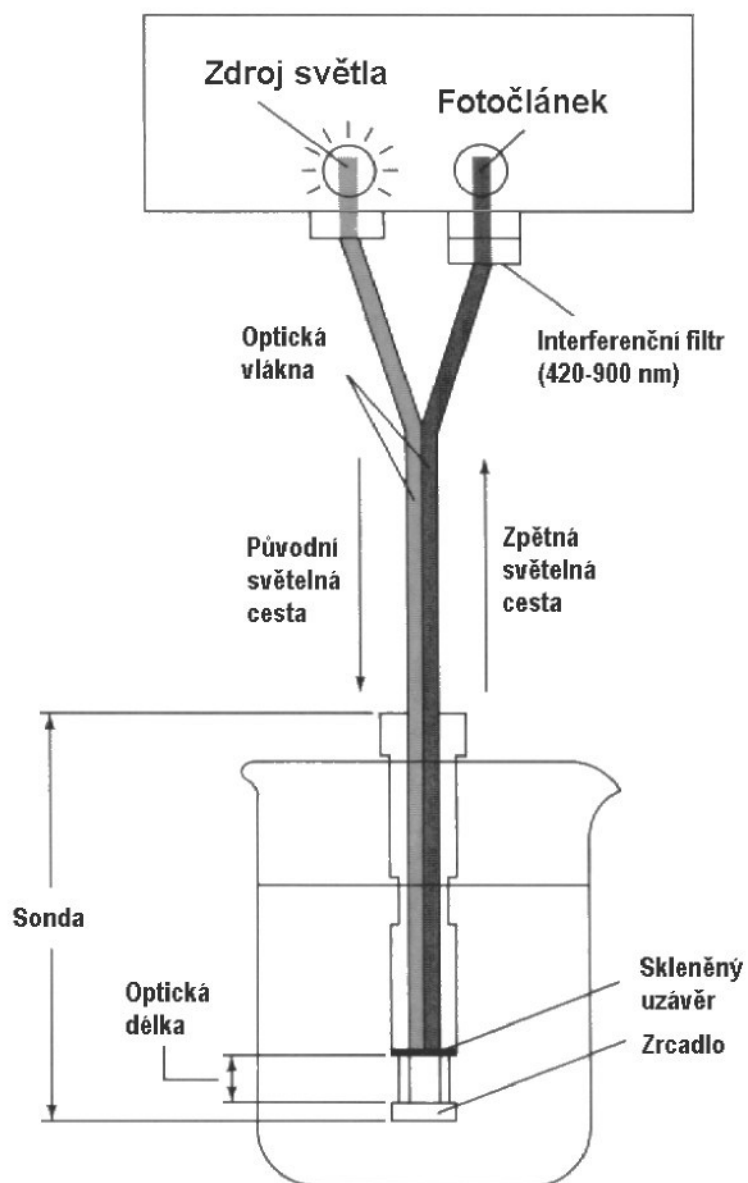
Obrázek 18: Základní uspořádání jednopaprskových přístrojů

Dvoupaprskový spektrofotometr (obrázek 19a) nemusí obsahovat paměťové prvky, protože zkoumaný roztok můžeme přímo porovnávat s čirým (referenčním). Díky počítačovému zpracování naměřených hodnot se dnes často používají jednopaprskové spektrofotometry (obrázek 19b).



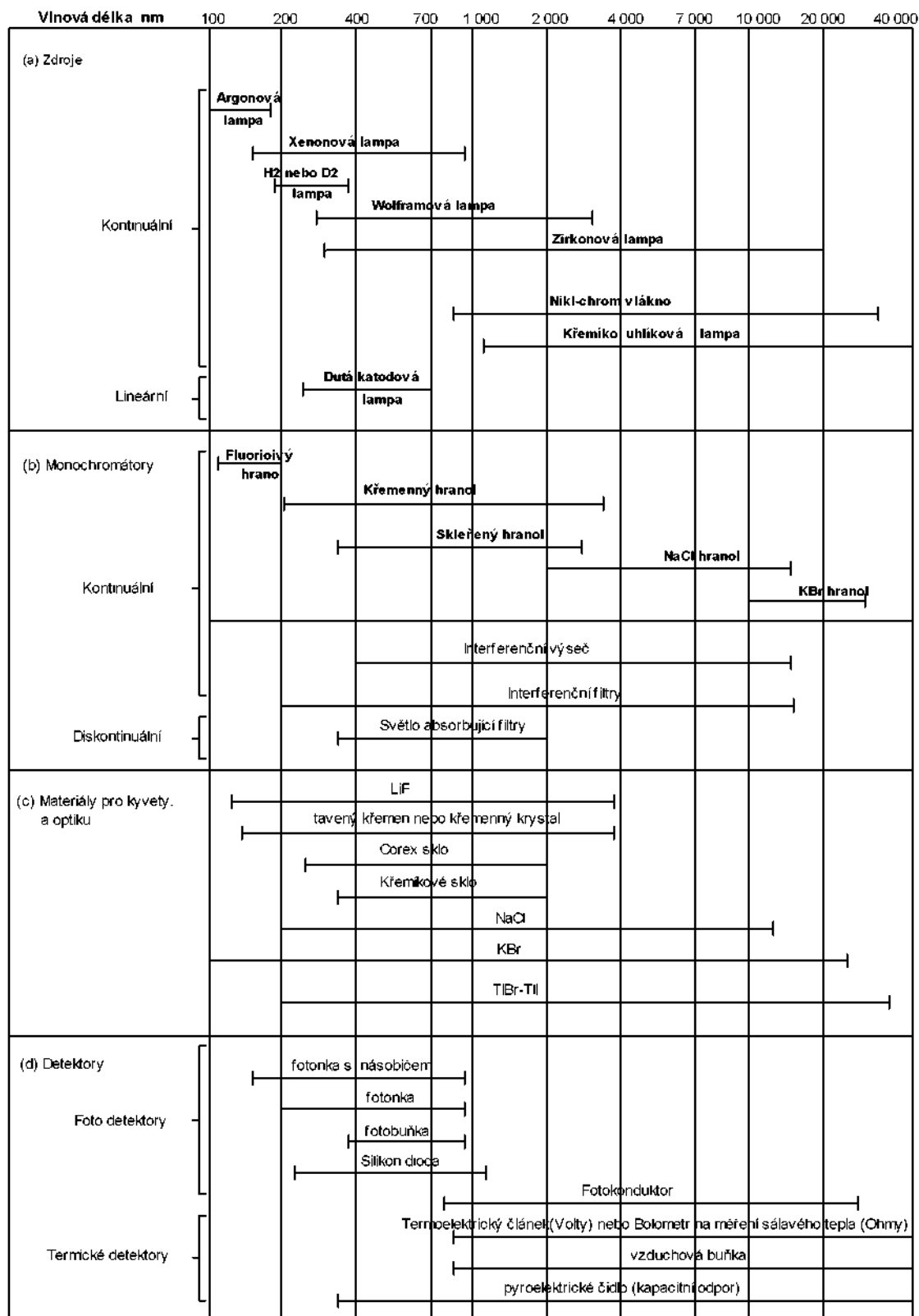
Obrázek 19: Uspořádání jednopaprskového a dvoupaprskového spektrofotometru [49]

Spektrofotometrem se vzorkem umístěným v kyvetě (obrázek 19) nelze sledovat průběh chemických a biochemických procesů. V současné době jsou i přístroje, kde vlastní spektrofotometrické měření je konstrukčně řešeno v sondě (obrázek 20), v zásadě na shodném principu. Sonda pak umožňuje kontinuální měření požadovaných veličin. K přenosu záření je využíváno optických vláken.



Obrázek 20: Kontinuální měření absorpance [49]

Komponenty a materiály pro spektrofotometry



Obrázek 21: Schéma profesora A.R. Armstronga [49]

3.4 Způsoby komunikace měřicích přístrojů s počítačem

Nové měřicí přístroje a inteligentní senzory jsou standardně vybaveny rozhraním pro komunikaci s počítačem. Pomocí vhodného programového vybavení je možné odečítat měřené veličiny a konfigurovat složitější zařízení.

Počítačová rozhraní lze rozdělit podle způsobu komunikace na sériové a paralelní. Zařízení spojená sériovým rozhraním přenáší data v daném směru vždy po jednom signálovém vodiči. Paralelní komunikace se většinou odehrává pomocí osmi, šestnácti nebo i více signálových vodičů.

3.4.1 Rozhraní RS 232

RS 232 je standard sériové dvoubodové datové komunikace. První verze rozhraní byla definována organizací EIA (Electronic Industries Alliance) v roce 1962 pod označením RS 232 (Recommended Standard). Norma rozhraní byla opakovaně revidována. Významného rozšíření doznala především třetí revize RS 232 C, která pochází z roku 1969. Obdobný standard vydala organizace CCITT pod označením V.24 [45].

V současnosti je podle EIA a TIA (Telecommunications Industry Association) je standard rozhraní uváděn pod názvem TIA/EIA 232 F [89]. Vzhledem k tomu, že rozdíl mezi RS 232 C a „zažitost“ staršího označení je značná, je oficiální označení TIA/EIA 232 F používáno v odborné literatuře jen zřídka. V literatuře i mezi odbornou veřejností se o tomto rozhraní nejčastěji hovoří jako o RS 232 C nebo prostě jen RS 232.

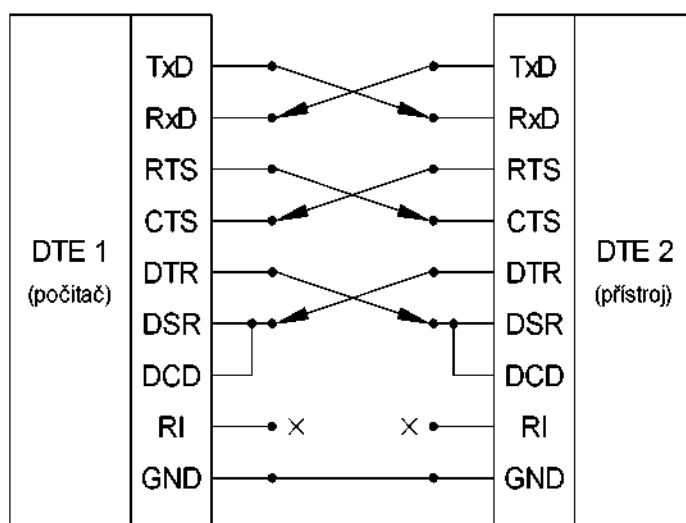
Třetí revize RS 232 C zjednodušila rozhraní z původních šestnácti vodičů na osm, vztažených ke společnému potenciálu. Rozšíření RS 232 C přispěla firma IBM, tím, že jej implementovala do architektury osobních počítačů, které nabídla veřejnosti v 80. letech. Rozhraní RS 232 C sloužilo především pro spojení počítač – modem. Normy RS 232 definují [76]:

- jednotlivé signály pro přenos dat a řídicích informací,
- možnost simplexního, duplexního nebo poloduplexního přenosu dat,
- formát datového rámce,
- napětové úrovně signálů,
- typ a maximální délku přenosového vedení,
- zapojení konektoru.

Vzhledem k tomu, že rozhraní RS 232 je v publikacích popisováno velmi často, jsou tyto informace komplexně uvedeny v příloze práce (příloha D). V následujícím textu budou zmíněny odlišnosti TIA/EIA 232 F od RS 232 C a nové trendy.

Rozhraní TIA/EIA 232 F používá především konektor D-SUB9. Z původního konektoru D-SUB25 bylo upuštěno i u telefonních modemů. V současných obvodech UART je integrováno pouze osm signálů místo původních šestnácti [89].

Měřicí přístroje jsou zpravidla vybaveny jako zařízení DTE konektorem D-SUB9 s kolíky. Pokud chceme propojit dvě zařízení DTE (přístroj-počítač), potřebujeme kabel s překříženými signálovými vodiči a konektorem D-SUB9 s kolíky na obou koncích (obrázek 22). Pro většinu přístrojů stačí pětivodičové propojení (signály DTR, DSR, DCD jsou propojeny v konektorech na obou stranách) nebo dokonce pouze třívodičové propojení. Některé příruční přístroje a inteligentní senzory používají speciální miniaturní konektory (výrobce dodává speciální kabel).



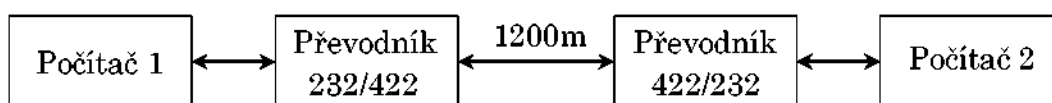
Obrázek 22: Propojení počítače s měřicím přístrojem

TIA/EIA 232 F se liší definicemi charakterizujícími vedení. Nejsou již uváděny limity na délku propojovacího vodiče, ale jsou uváděny elektrické parametry [89]. Novým trendem jsou USB – TIA/EIA 232 F převodníky. Přes signálový vodič RI lze přivést do přístroje napájení 5 V podobně jako u rozhraní USB. Tento způsob využívání signálového vodiče (pin 9) není vždy podporován a je možné, že se tento způsob napájení přístrojů nestane obvyklým. Pokud je v ovladači zařízení aktivováno napájení 5V, je pravděpodobné, že starší modemy určené pro RS 232 C nebudou schopny nahlásit počítači příchozí hovor. Signálový vodič RI bývá obvykle nevyužitý (obrázek 22).

3.4.2 Rozhraní RS 422

Rozhraní RS 422 je podobně jako RS 232 navrženo pro spojení dvou zařízení. Je umožněn simplexní, duplexní nebo poloduplexní přenos dat. Zařízení jsou spojena dvěma kroucenými páry vodičů. Elektrické parametry jsou shodné s rozhraním RS 485 [18].

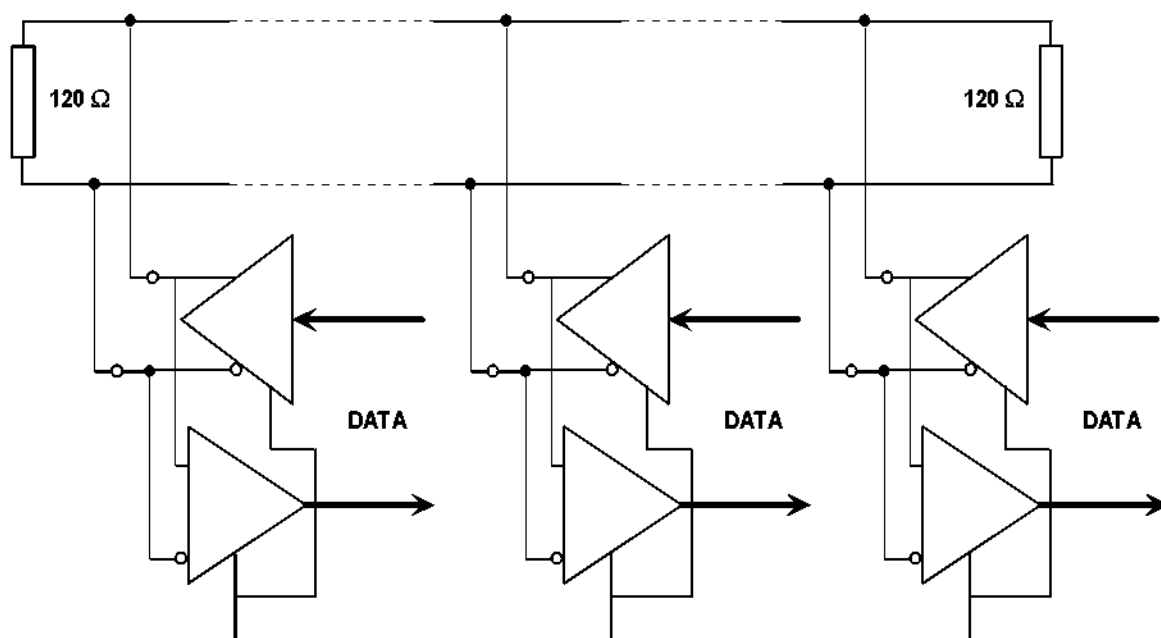
Rozhraním RS 422 se nejčastěji odstraňuje nedostatek RS 232 (délka max. několik desítek metrů). Typická aplikace je znázorněna na obrázku (obrázek 23).



Obrázek 23: Propojení dvou počítačů pomocí rozhraní RS 232 a RS 422

3.4.3 Rozhraní RS 485

Rozhraní RS 485 je používáno v oblasti průmyslových měřicích systémů. Umožňuje propojit libovolný počet zařízení pomocí jednoho krouceného páru vodičů. Omezení je pouze maximální délkou (viz. dále) a použitým protokolem, který podobně jako u RS 232 a RS 422, není normou definován [18]. Zařízení musí mít třístavové výstupy (obrázek 24).



Obrázek 24: Vstupně výstupní obvody připojené na rozhraní RS 485

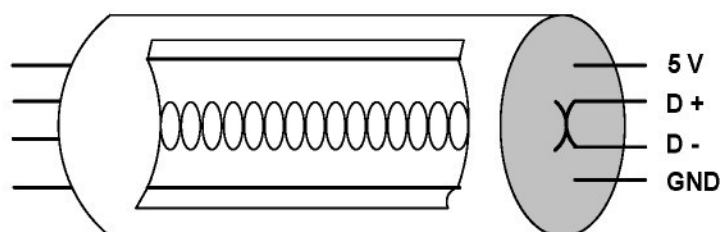
Norma definuje maximální rychlost komunikace $v = 10 \text{ Mb/s}$ a maximální celkovou délku vedení $l = 1200 \text{ m}$. Dále omezuje rychlost komunikace a délku vedení vztahem $l \cdot v < 10^8 \text{ b.m/s}$ [18].

Protokol musí zaručit, aby v jeden okamžik vysílalo pouze jedno zařízení a ostatní byla ve stavu vysoké impedance. Jedním z protokolů použitelných na RS 485 je AIBus-2. Základní vlastnosti protokolu AIBus-2 jsou [50]:

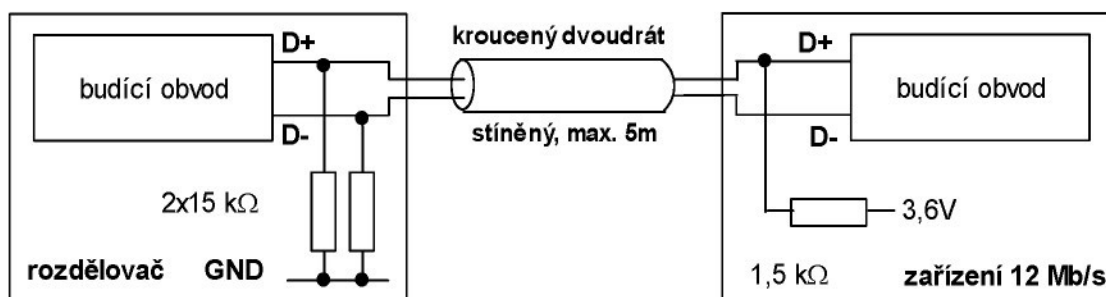
- vytváření sítí typu Master-Slave,
- pevná délka přenášených povelů (10 samostatných rámců RS 232),
- zpětné potvrzování každého povelu,
- rozlišení směru přenosu paritním bitem,
- identifikace zařízení 8 bitovou adresou (254 zařízení + Master),
- kontrola bezchybného přenosu zprávy pomocí 16-bitového CRC kódu.

3.4.4 Rozhraní USB

Rozhraní USB (Universal Serial Bus) bylo vyvinuto pro připojování periférií k osobním počítačům. Umožňuje připojení až 127 zařízení různých druhů (klávesnice, myš, modem, malé kamery, tiskárny a dokonce disková zařízení). Elektrické uspořádání je dvoubodové. Některé další vlastnosti jsou zřejmé z následujících obrázků [18].



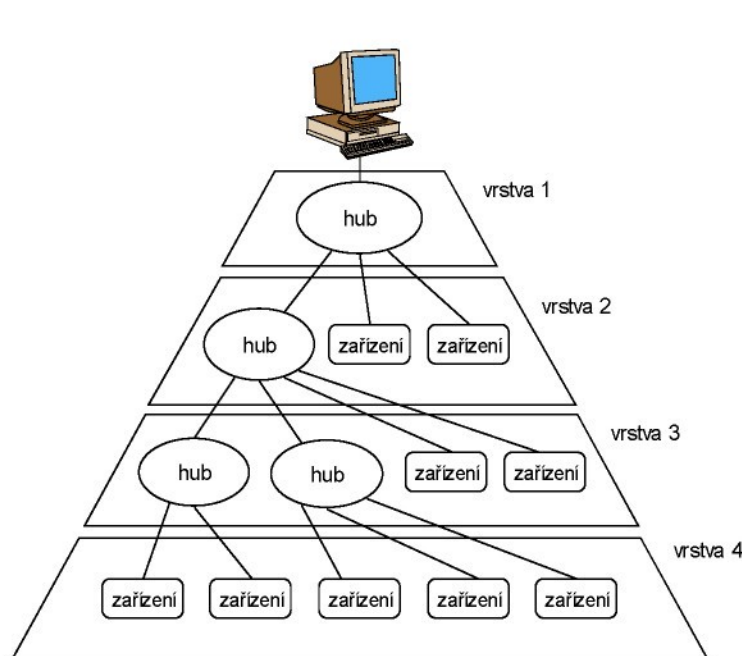
Obrázek 25: Řez propojovacím kabelem USB



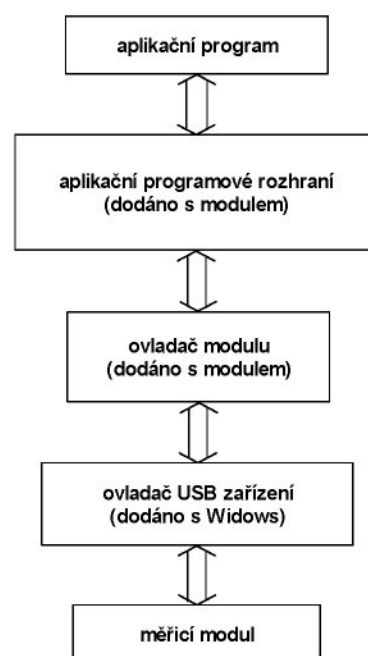
Obrázek 26: Zakončovací obvody přístrojů

K přístrojům s USB rozhraním lze připojit pouze jeden dvoubodový spoj. Více zařízení je možné propojit pomocí rozbočovačů (hub). Vzniká tak stromovitě hvězdicová struktura (obrázek 27).

Velkou výhodou rozhraní jsou napájecí vodiče v propojovacích kabelech. Každé zařízení může odebrat relativně velký proud (až 500 mA). Pokud však není napájen rozbočovač z vlastního zdroje, platí výše uvedená hodnota pro všechny přístroje připojené k příslušnému rozbočovači dohromady.



Obrázek 27: Struktura USB

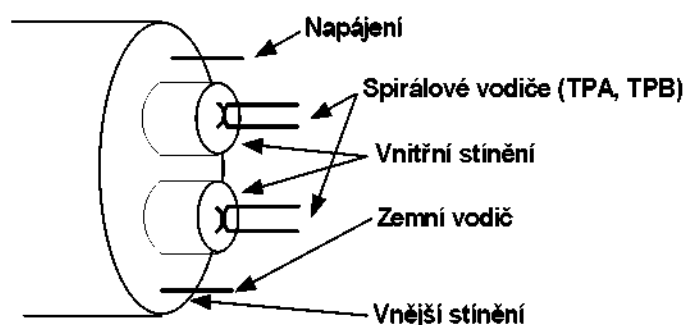


Obrázek 28: Struktura software [18]

Měřicí přístroje s rozhraním USB nejsou příliš rozšířené, ačkoliv je výrobci v současné době nabízejí. Důvodem je především vyšší cena přístrojů. Cena systémů postavených na USB je zatížena především náročným vývojem software (obrázek 28). Vývoj ovladačů je nutné provést pro většinu operačních systémů a je především nutné zajišťovat podporu pro nové operační systémy ještě před jejich uvedením na trh. Rozhraní USB zaznamenalo v minulých letech obrovský rozmach. Bývá běžné, že proniká i do oblastí měřicí techniky. Přístroje často používají jednotný přístup k USB rozhraní (virtuální komunikační porty a podobně), čímž je vývoj zjednodušen (není nutné vyvíjet speciální ovladače pro operační systém).

3.4.5 Rozhraní IEEE 1394

IEEE 1394 je rozhraní, které je z uživatelského hlediska podobné USB. Jeho možnosti jsou však větší. Je navrženo pro aplikace s vysokou přenosovou rychlostí (400 Mb/s nebo 800 Mb/s). V současné době je integrováno ve všech počítačích. Řadiče pro sběrnici PCI jsou však běžně dostupné, jsou označovány jako řadiče rozhraní Fire-wire (oheň-drát). Zařízení jsou propojována dvoubodovými spoji (obrázek 29). Rozbočovače jsou integrovány přímo v připojovaných přístrojích.



Obrázek 29: Řez propojovacím kabelem IEEE 1394

3.4.6 Paralelní rozhraní PC

Bylo navrženo pro připojení tiskárny k počítači IBM PC. Původní specifikace řešila jednosměrný tok dat pro tisk a prostředky pro monitorování stavu tiskárny.

Rozhraní tvoří 17 signálů, 8 bitů pro paralelní přenos dat, 4 bity pro ovládání stavu tiskárny a 5 bitů pro monitorování stavu tiskárny. Zbývající piny konektoru D-SUB25 jsou uzemněny. Rozhraní je bez jakékoli ochrany proti rušení, jsou použity napěťové úrovně TTL [34]. Do současné doby doznalo rozhraní spoustu změn. Nedůležitější je obousměrnost signálů pro tok dat a řízení toku dat pomocí přerušení. Tyto změny byly v roce 1994 definovány normou IEEE 1284 [7].

Využití rozhraní měřicími přístroji je ojedinělé. Výjimkou jsou např. starší typy digitálních osciloskopů používající obrazovku počítače. Z profesionální oblasti je vytlačováno zejména díky rozhraní IEEE 1394, USB a HP-IB. Pro konstrukci jednoduchého zařízení však bylo velmi výhodné a proto existuje mnoho amatérských aplikací [6].

3.4.7 Rozhraní IEEE 488

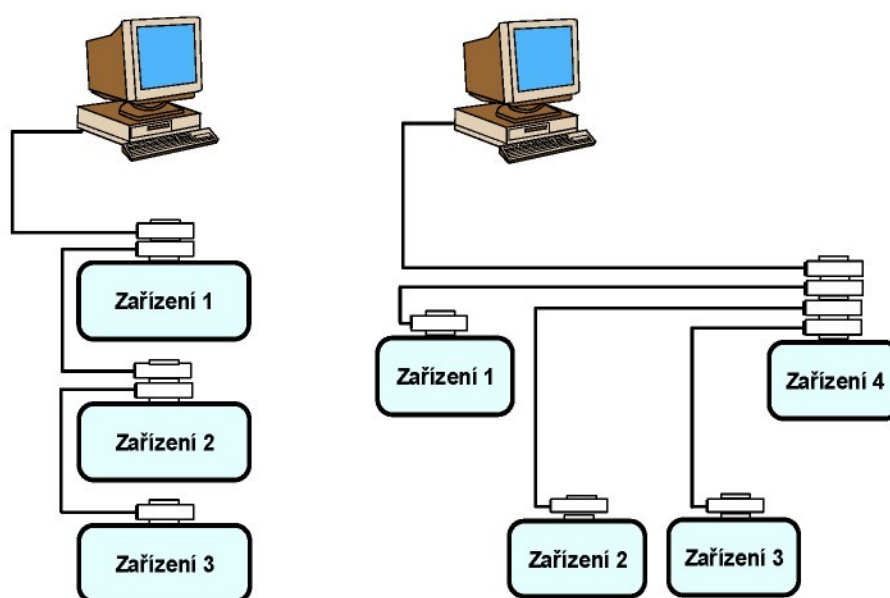
Rozhraní vyvinula koncem šedesátých let firma Hewlett Packard pod označením HP-IB (Hewlett Packard Interface Bus). Označení HP-IB je firmou Agilent dodnes používáno jako registrovaná známka.

Standardizační instituce IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) publikovala v roce 1975 rozhraní HP-IB pod označením IEEE 488. Rozhraní bylo dále vyvíjeno. V roce 1987 byly pod označením IEEE 488.2 přesně definovány operační vlastnosti přístrojů včetně ošetření chybových stavů [18].

Rozhraní HP-IB je používáno především v oboru měření elektrických veličin. Umožňuje sestavovat (obrázek 30) ze samostatných přístrojů automatizované systémy pro sledování rychle se měnících dějů.

Struktura rozhraní je ve srovnání s předchozími poměrně složitá. HP-IB používá paralelní i sériovou komunikaci. Podrobný popis je publikován např. v [18]. Základní vlastnosti rozhraní IEEE 488:

- maximálně 15 zařízení,
- celková délka sběrnice max. 20 m, mezi přístroji max. 2 m,
- 8 datových linek, 5 řídicích signálů, 3 korespondenční linky (handshake),
- negativní logika TTL ($\log 1 < 0,8 \text{ V}$, $\log 0 > 2 \text{ V}$),
- maximální přenosová rychlost – 1 MB/s (nově HS 488 až 8 MB/s).



Obrázek 30: Topologie sběrnice HP-IB

4 Dávkové měření fermentačních procesů

4.1 Charakteristika problematiky

Měření fyzikálně chemických veličin při dávkových experimentech (tzv. batch pokusy) jsou prováděna laborantem podle stanovených postupů. Pomocí počítače jsou výsledky měření zpracovány, zobrazeny v grafech a archivovány. Výhodou podobných laboratorních postupů je možnost pracovat paralelně, což je efektivní například pro nalezení optimálních podmínek pro aktivitu enzymů. Nevýhodou je pracnost experimentální laboratorní činnosti.

Pomocí software můžeme zautomatizovat některé činnosti, např. měření koncentrace roztoku pomocí absorbance nebo pomocí konduktivity, dále kontinuální sledování jedné nebo více veličin při dávkovém pokusu. Požadované rychlosti sběru dat jsou ve srovnání s měřením elektrických veličin relativně nízké (desítky sekund až hodiny).

4.2 Návrh měřicího systému

4.2.1 Způsoby realizace

Systém pro měření fyzikálně–chemických veličin je možné realizovat více způsoby. Nákup specializovaného měřicího systému je v daném případě vhodný, protože na katedře chemie Univerzity Hradec Králové jsou přístroje používány při měření, jehož cílem je vývoj postupů zmíněných v kapitole 1.2. Požadována je zejména modulárnost celého systému a možnost automatizovaného monitorování biochemických procesů včetně zpracování naměřených hodnot pomocí počítače. Musí být však umožněno jednoduché měření i bez podpory počítače. Z tohoto důvodu není vhodné použití měřicích desek pro osobní počítače. Těmto požadavkům vyhovuje systém sestavený ze samostatných přístrojů vybavených rozhraním pro připojení k počítači.

Měření 1.1



Uživatelská příručka

Jiří Jelínek

OBSAH

1 Úvod	3
2 Instalace a spuštění programu	4
2.1 Informace o konfiguraci počítače	4
2.2 Postup při instalaci programu	4
3 Seznámení s prostředím programu	5
3.1 Prostředí programu	5
3.2 Menu programu	6
3.2.1 Soubor	6
3.2.2 Nastavení	8
3.2.3 Měření	10
3.2.4 Zobrazit	10
3.2.5 Nápověda	11
4 Měřicí moduly	13
4.1 Měření koncentrace roztoků	13
4.1.1 Spuštění modulu	13
4.1.2 Měření	14
4.1.3 Zpracování výsledků měření	16
4.2 Sběr dat	19
4.2.1 Spuštění modulu	19
4.2.2 Měření	20
4.2.3 Zpracování výsledků měření	21
5 Ukončení a odinstalování programu	25
5.1 Ukončení programu	25
5.2 Odinstalování programu	25

V textu jsou použity názvy programových produktů, firem apod., které mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.

Windows is a registered trademark of Microsoft in the U.S. and other countries.

Windows je registrovaná obchodní známka firmy Microsoft v USA a v ostatních zemích.

1 Úvod

Program Měření 1.1 umožňuje jednoduchým způsobem realizovat automatický sběr dat až ze šestnácti senzorů. Příjemné uživatelské rozhraní umožňuje jednoduché a rychlé ovládání. Naměřené hodnoty lze jednoduše vytisknout nebo dále zpracovat pomocí textového editoru nebo tabulkového procesoru. Důraz je kladen na další zpracování naměřených hodnot v prostředí Matlab.

Další možností programu je měření koncentrace roztoků. Společně s programem Aurora Scan 1.1 může uživatel plně využít možností spektrofotometrů UNICAM.

2 Instalace a spuštění programu

2.1 Informace o konfiguraci počítače

Program Měření 1.1 je plně 32bitová aplikace pro operační systém MS Windows. V tabulce je uvedena minimální a doporučená konfigurace počítače a verze systému Windows.

	Minimální konfigurace	Doporučená konfigurace
Operační systém	MS Windows 95	Windows XP, Vista
Procesor	486DX	Pentium 3, 4
Paměť RAM	16 MB	256 MB
Volné místo na HD	2 MB	10 MB
Display	800 × 600 - high color	1024 × 768 - true color

Dále je doporučeno vybavit počítač přídavným řadičem sériových portů. V současné době je výrobci nabízena celá řada řadičů sériových portů v provedení přídavných desek pro sběrnici PCI (2,4,8,16 portů RS-232C).

2.2 Postup při instalaci programu

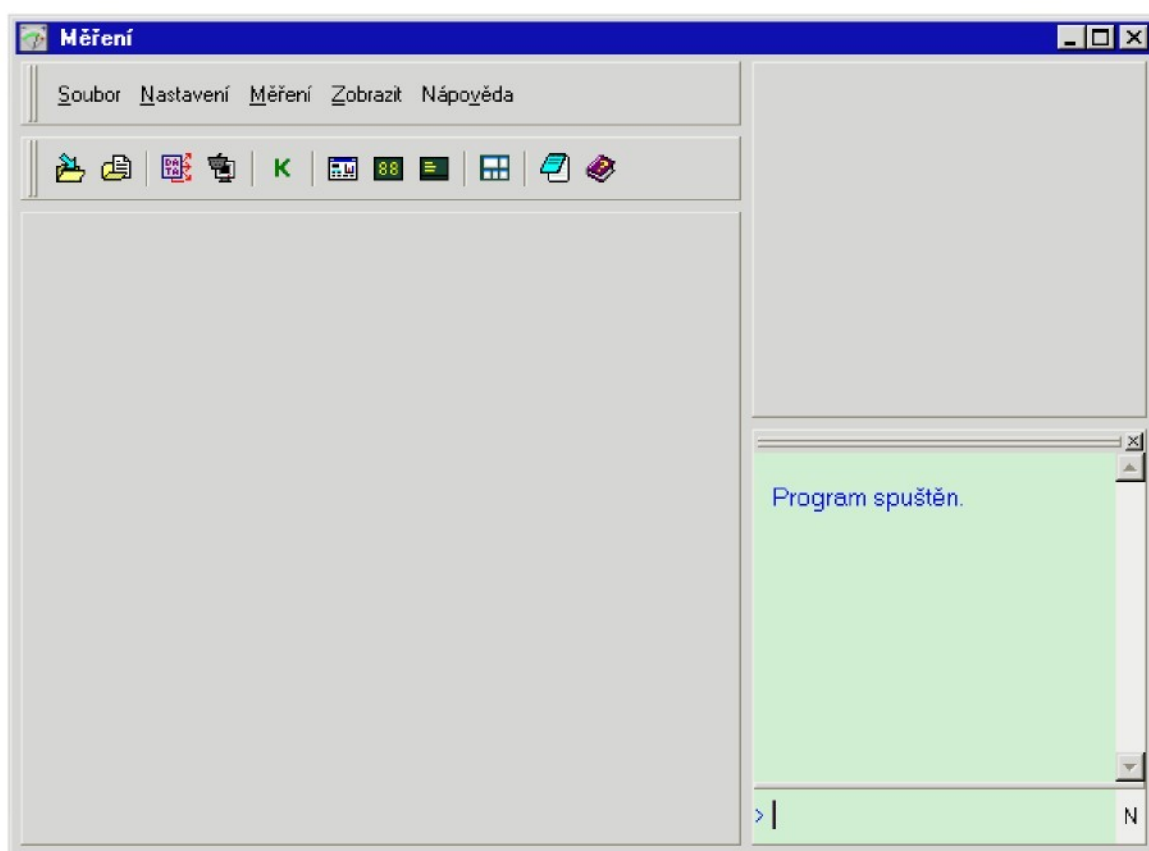
Program lze instalovat z CD nebo ze dvou disket (Měření 1.1, Aurora Scan 1.1). Předpokládejme, že disketová mechanika má označení např. A: a pevný disk C:.

- Vložte instalační disketu do jednotky A: a z menu Start vyberte volbu Spustit, zadejte A:\setup.exe a stiskněte ENTER.
- Budete dotázáni, kam si přejete provést instalaci. Zadáte-li C:\, bude na disku vytvořena složka C:\MEASURE a do ní nainstalován program.
- Vytvořte zástupce programu C:\MEASURE\measure.exe na pracovní ploše nebo v nabídce Start. Pomocí této ikony budete moci program snadno spouštět.
- Pokud chcete využívat propojení do prostředí Matlabu, upravte vhodným způsobem soubor C:\MEASURE\SETTINGS\matlab.bat. Návod je obsažen přímo v tomto souboru.
- Instalace programu je ukončena (není nutné restartovat systém).

3 Seznámení s prostředím programu

3.1 Prostředí programu

Program Měření 1.1 je určen pro práci v prostředí MS Windows. Po spuštění programu se objeví hlavní okno aplikace (Obr.1), které je rozděleno na 5 částí. Program lze ovládat pomocí menu, které je umístěno v horní nástrojové liště. Některé často používané funkce jsou přístupné pomocí ikon.



Obr.1 Základní okno programu

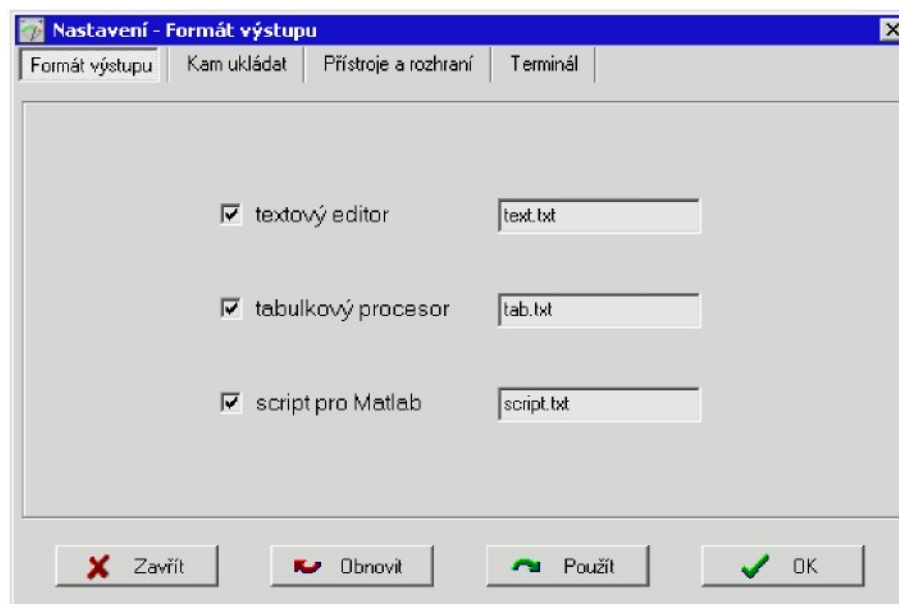
Nástrojové lišty obsahují 5 nabídek menu a 11 ikon. V pravém dolním rohu je vloženo okno Terminál, které lze vyjmout nebo zavřít. Příkazová řádka slouží k ručnímu řízení komunikace a ovládání přístrojů. Ostatní části obrazovky jsou využity až při spuštění některého měřicího modulu (nabídka Měření). Program umožňuje vyjmout jednotlivé části do samostatných oken.

3.2 Menu programu

3.2.1 Soubor

3.2.1.1 Formát výstupu

Po zvolení této položky se zobrazí okno, ve kterém lze změnit názvy souborů pro výsledky měření. Vytváření příslušných výstupů lze vypnout.



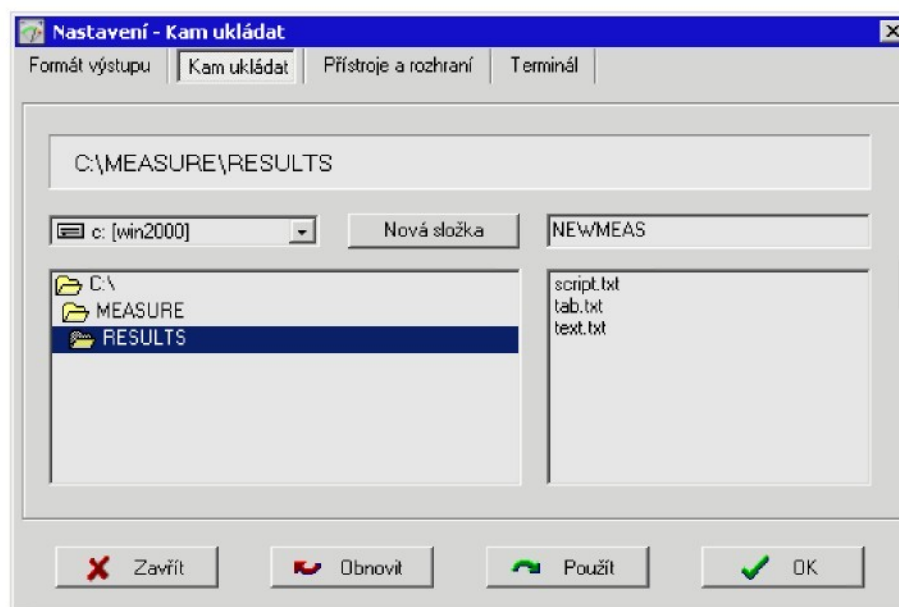
Obr. 2 Nastavení - Formát výstupu

Provedené změny lze uložit (tlačítka Použít a OK) nebo zrušit a vrátit nastavení do stavu, ve kterém bylo před zobrazením okna (tlačítka Obnovit a Zavřít).

Pokud jsou zmíněná tlačítka umístěna v dalších oknech, mají vždy stejnou funkci.

3.2.1.2 Kam ukládat

Zobrazí okno (Obr.3), ve kterém lze vybrat ze stromové struktury složek na disku tu požadovanou pro ukládání výsledků měření. Toto nastavení je velice důležité, proto je obsah složky zobrazen v pravé části okna. Zde lze kontrolovat, zda zvolená složka neobsahuje výsledky z předchozího měření. Tlačítkem uprostřed okna lze založit novou složku.



Obr. 3 Nastavení - Kam ukládat

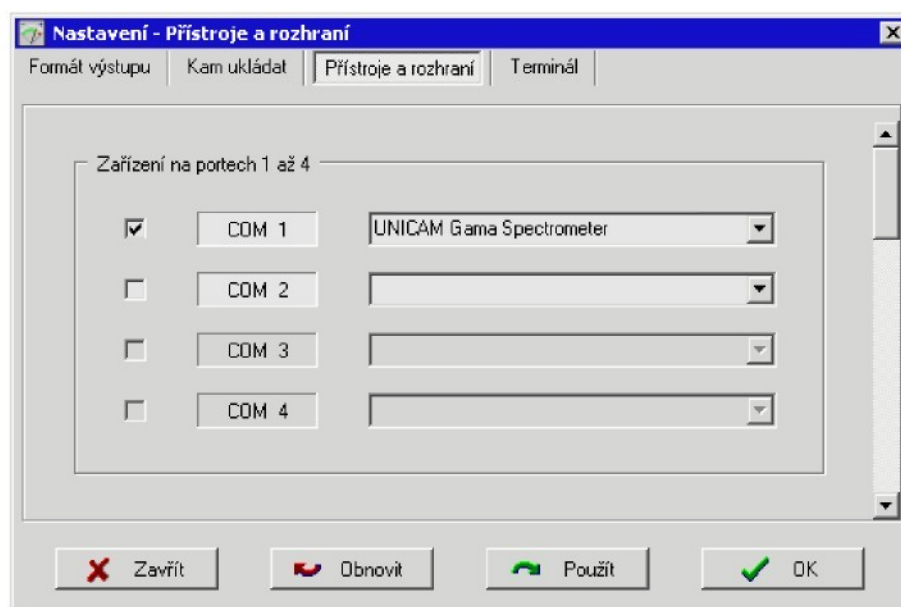
Před potvrzením (OK) zkontrolujte výsledek - cestu, která je zobrazena v horní části okna.

3.2.2 Nastavení

3.2.2.1 Přístroje a rozhraní

Program umožňuje pracovat až se šestnácti zařízeními současně. Pokud počítač není vybaven řadičem sériových portů, jsou dostupné pouze ty, kterými je standardně vybavena základní deska (jeden nebo dva).

Na různé porty lze připojit zařízení stejného typu. Je tedy možné připojit např. dva pH-metry a jedním měřit pH a druhým redox potenciál.



Obr. 4 Nastavení - Přístroje a rozhraní

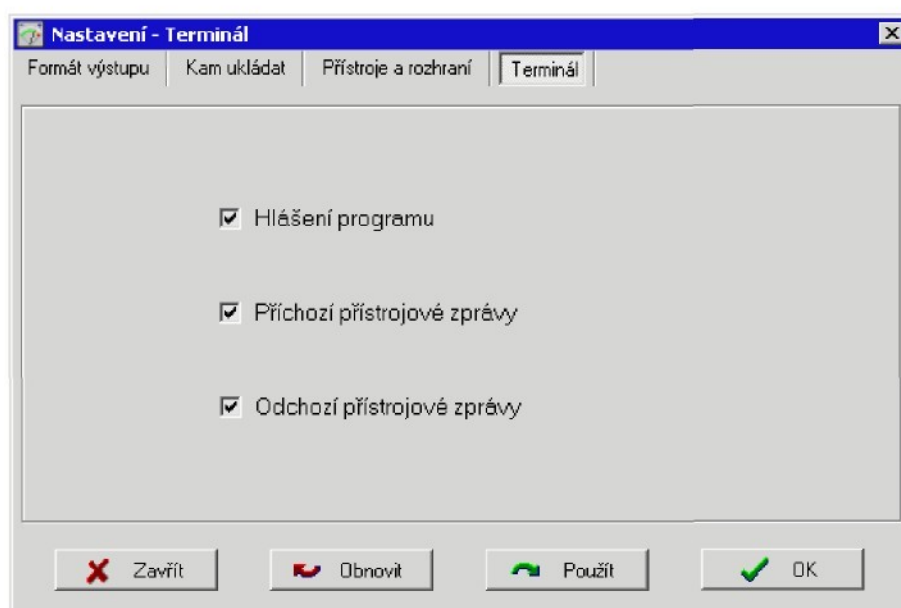
Dialogové okno nedovolí přiřadit zařízení portu, který není dostupný. Může se stát, že port je dostupný v systému, ale používán jinou aplikací a zařízením. Na tuto skutečnost program upozorní při spuštění měřicího modulu. V žádném případě však nenaruší funkci příslušné aplikace a zařízení.

3.2.2.2 Terminál

Volba v menu Nastavení/Terminál zobrazí okno (Obr.5), ve kterém lze vypnout nebo zapnout hlášení programu a výpisy přístrojových zpráv.

Některé moduly programu Měření 1.1 hlásí svůj stav pomocí okna Terminál. Hlášení programu, které nejsou informací o chybách, lze takto vypnout (případné chyby jsou zobrazeny do samostatných okének).

Zobrazování přístrojových zpráv, které pochází z automatické komunikace s přístroji, lze vypnout.



Obr. 5 Nastavení - Terminál

Nastavení okna Terminál nemá vliv na funkci příkazů, které lze zadávat do příkazové řádky.

3.2.3 Měření

3.2.3.1 Měření koncentrace roztoků

Spustí modul Měření koncentrace roztoků, pokud je zvolen právě jeden přístroj.

3.2.3.2 Spektrofotometrie

Spustí program Aurora Scan 1.1.

3.2.3.3 Sběr dat

Spustí modul Sběr dat, pokud je zvolen alespoň jeden přístroj.

3.2.3.4 Ukončit měření

Pošle signál k ukončení měření. Spuštěný modul ukončí komunikaci s přístroji, uzavře porty a soubory s výsledky.

3.2.3.5 Pozastavit komunikaci

Pozastaví automatickou komunikaci s přístroji. Automatická komunikace zajišťuje přenos naměřených hodnot do oken přístrojů. Pokud je pozastavena, je možno použít okno Terminál k nastavení složitějších přístrojů.

3.2.4 Zobrazit

3.2.4.1 Měření

Zobrazí hlavní okno spuštěného modulu

3.2.4.2 Display

Otevře zavřená okna přístrojů.

3.2.4.3 Terminál

Otevře okno Terminál.

3.2.4.4 Poslední hlášení

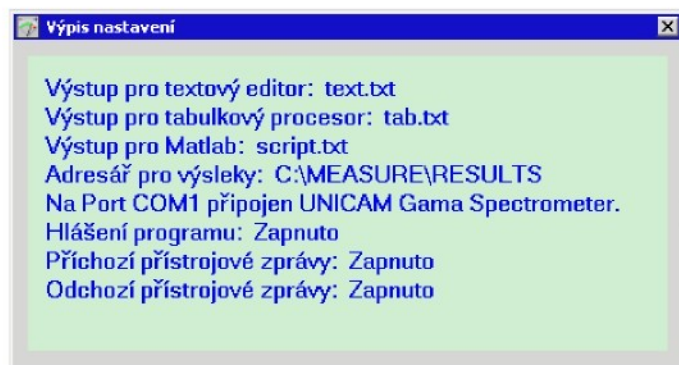
Zobrazí poslední hlášení programu do samostatného okna.

3.2.4.5 Uspořádat okna

Obnoví výchozí uspořádání oken.

3.2.4.6 Výpis nastavení

Zobrazí souhrn konfigurace programu.

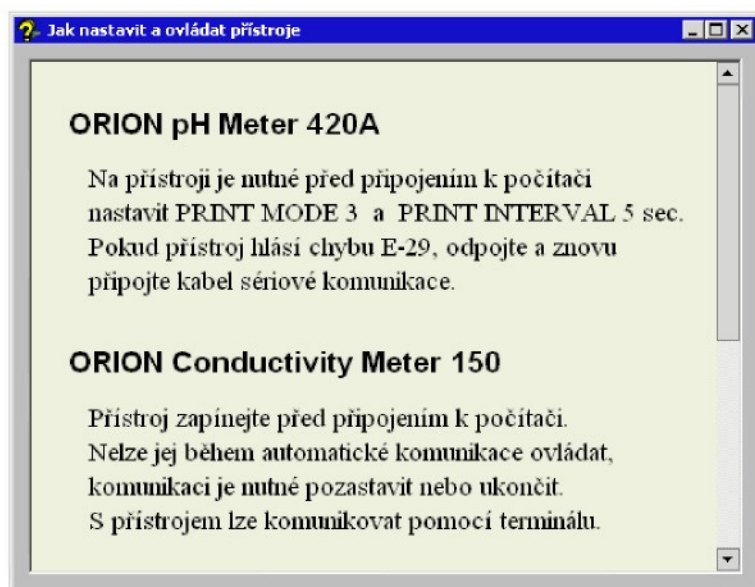


Obr. 6 Výpis nastavení

3.2.5 Nápověda

3.2.5.1 Nastavení a ovládání přístrojů

Zobrazí okno s nápovědou (Obr.7), ve kterém je ke každému přístroji uveden postup, jak dosáhnout komunikace a možnosti ovládání přístroje během komunikace.



Obr. 7 Nápověda - Jak nastavit a ovládat přístroje

3.2.5.2 Okno terminál a příkazy programu

Zobrazí nápovědu s příkazy.

- /HELP - vypíše tuto nápovědu
- /CLS - smaže obrazovku terminálu
- /STOP - pozastaví automatickou komunikaci
- /START - obnoví automatickou komunikaci
- /R - přečte vstupní buffer portu
- /SET - zobrazí okno Nastavení
- /COMxx - připojí terminál na daný port
- /RTS0 - nastaví signál RTS na logickou 0
- /RTS1 - nastaví signál RTS na logickou 1

Vše, co nezačíná znakem "/", je okamžitě odesláno na port.

Pokud chcete odeslat přístroji povel začínající znakem "/", uveďte dva znaky "/".

3.2.5.3 O aplikaci Měření

Zobrazí okno s informacemi o názvu a verzi programu.

XBC Graphs



nadstavba měřicího systému XBC

Základní popis

Magic XBC Graphs je nadstavba universálního měřicího systému Magic XBC. Tato nadstavba umožňuje prohlížet naměřené hodnoty ve formě grafů. Možnosti grafického zobrazení jsou proti základnímu programu Magic XBC rozšířeny o řadu funkcí.

Základní parametry	
Počet připojených programů Magic XBC	1 nebo 2
Počet zobrazovaných grafů	1 ÷ 8
Počet zobrazených závislostí v jednom grafu	1 ÷ 4
Zobrazení časové osy	Čas od spuštění, reálný čas
Připojení k programu Magic XBC	Pomocí protokolu TCP, možno provozovat i na vzdáleném počítači v síti
Uložení zobrazených grafů	Ano
Aktualizace grafů	automatická
Minimální požadavky na PC	Windows XP nebo Windows Vista

Popis měřicího zařízení

Magic XBC Graphs zobrazuje data z datalogeru základního programu Magic XBC. Předpokladem funkce „On-line“ prohlížení naměřených výsledků je běh základního programu Magic XBC. Pokud je v základním programu Magic XBC aktivní dataloger, je možno prohlížet grafická data, včetně okamžité automatické aktualizace zobrazení o nová právě měřená data. Jestliže je v základním programu Magic XBC dataloger neaktivní, je možno prohlížet data z posledního spuštěného načítání dat (dokud nejsou nahrazena novými daty při dalším spuštění).

Dále je možno zobrazená data ukládat do souboru a opětně je načítat pro další zobrazení.

Základní program Magic XBC je s nadstavbou Magic XBC Graphs propojen pomocí protokolu TCP, pomocí něhož Magic XBC Graphs přijímá naměřená data z jednoho základního programu. Pro příjem dat ze dvou základních programů je potřeba úprava instalačních souborů. Tyto Vám na požádání zašle výrobce. Základní program Magic XBC může běžet na stejném počítači jako program Magic XBC Graphs nebo na libovolném jiném počítači, který je připojen pomocí protokolu TCP. Toho lze využít například ke grafické vizualizaci měřených dat na vzdáleném počítači.

„Soubor“

➤ „On-line“

Jestliže uživatel zvolí tuto možnost, budou se zobrazovat data přijatá ze základního programu Magic XBC.

„Soubor“

➤ „Uložit“

Tato volba umožňuje uložení právě zobrazených dat do souboru. Uloží se všechna načtená data i nastavení grafů. Takže v případě opětného načtení je zobrazeno to co při uložení dat a navíc si uživatel může nastavení grafů upravit a případně znovu uložit.

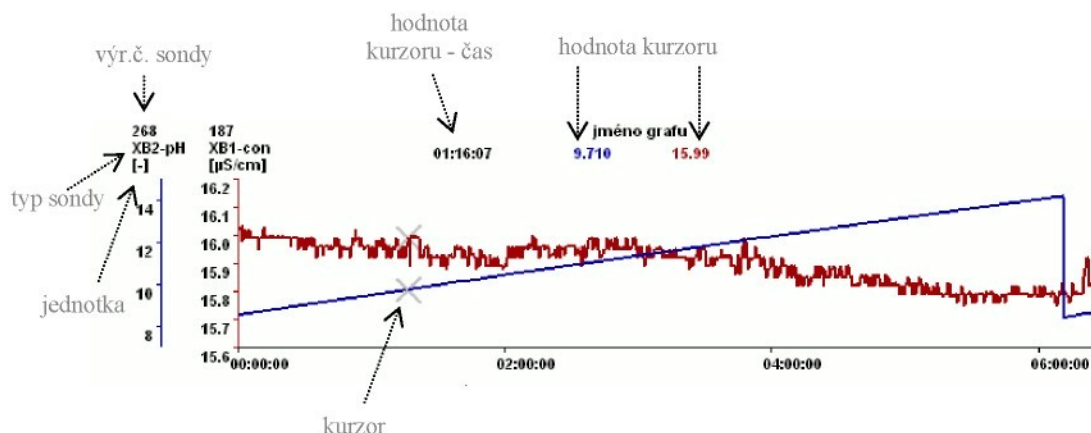
„Soubor“

➤ „Načíst“

Tato volba umožňuje načtení dříve uložených grafických dat ze souboru.

„Nastavení“

Zde je možno provádět nastavení zobrazení grafů.



Nastavení společná pro všechny grafy:

- Výška grafů - výška zobrazených grafů v bodech
- Osa X (časová osa)

zde se nastaví, zda se má čas na ose zobrazovat jako prostý čas uplynulý od spuštění datalogeru, nebo jako reálný čas (včetně dne a měsíce).

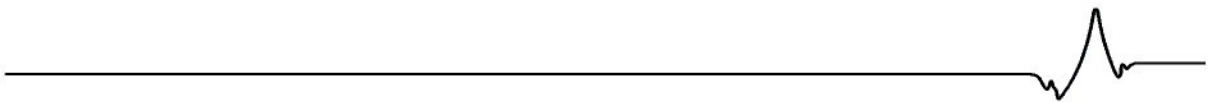
Rozdíl v zobrazení reálného času a času od spuštění je jen v označení počátku (čas nula). Jedná se pořád o reálný čas z PC, jen posune začátek. To je si potřeba uvědomit, jestliže jsou zobrazeny data ze dvou různých datalogerů na společné časové ose. Jestliže je zvolen reálný čas, vše se zobrazuje korektně. Jestliže je ale zvolen čas od spuštění, myslí se tím čas od spuštění prvního datalogeru (tj. ten který byl spuštěn nejdříve).

Nastavení jednotlivých grafů:

- Zobrazit - zapíná zobrazení grafu
- Jméno - do tohoto textového pole je možno zadat jméno grafu
- Výběr čáry grafu
 - spojnice
 - značky
 - spojnice a značky
- Orientační čáry - zapíná zobrazení orientačních vodorovných čar
- Zobrazit v.č. sondy - zapíná zobrazení výrobního čísla sondy
- Zobrazit typ sondy - zapíná zobrazení typu sondy

V jednom grafu je možno zobrazit až 4 závislosti. Každá závislost může mít nastaveny tyto parametry:

- sonda - výběr ze seznamu aktivních sond podle typu a výrobního čísla
- jednotky - výběr ze seznamu měřených veličin zvolené sondy
- měřítko - měřítko oxy Y
 - automatické
 - ruční zadání
 - maximální hranice



Měřicí systém XBC

Základní popis

XBC je universální měřicí systém. Tento systém nahrazuje stolní měřicí přístroj a je realizován jako nadstavba pro počítače řady PC. Přístroj je nahrazen programem počítače. Inteligentní sondy (sondy) se připojují pomocí interface XBC, který je připojený přes rozhraní RS232C (COM port) nebo USB k počítači. K interface XBC je možno připojit až 4 různé inteligentní sondy.

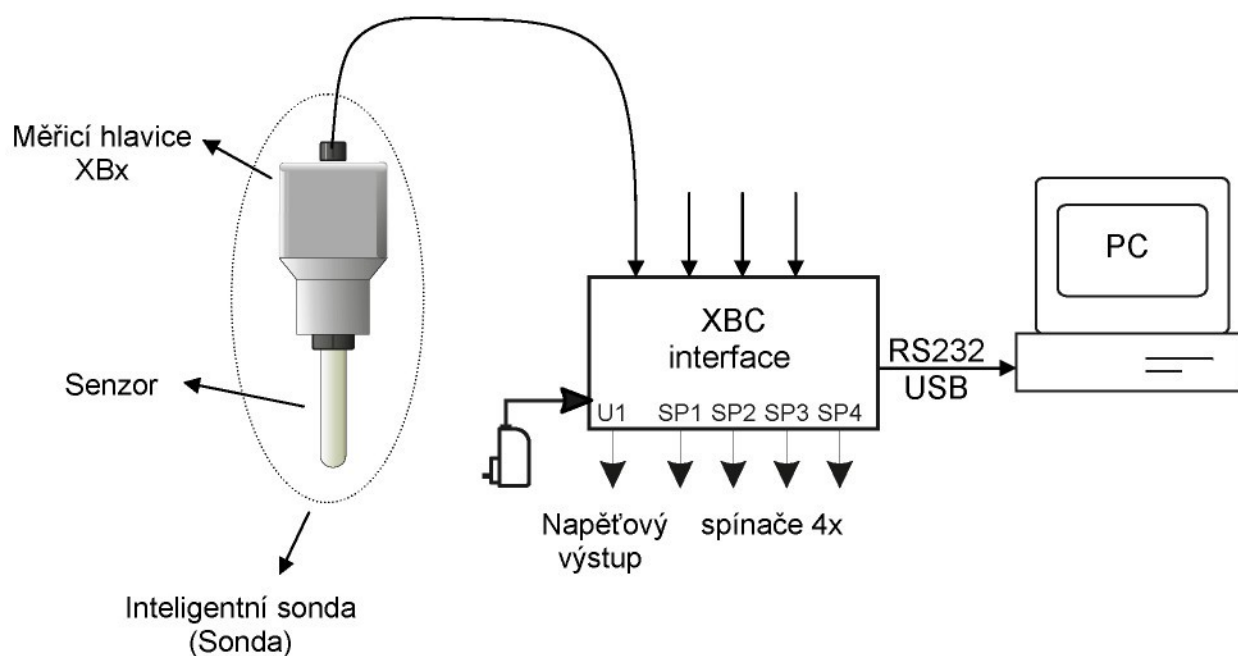
Základní technické parametry	
Připojení sond	kabelem
Počet připojených inteligentních sond	1 ÷ 4.
Napájení inteligentních sond	pomocí připojovacího kabelu sondy jsou galvanicky oddělené od okolí
Podpora protokolu GLP	Ano
Připojení k PC	USB, RS232
Uživatelská datová paměť	300 hodnot / kanál.
Kruhová datová paměť	200 hodnot / kanál
Perioda měření	nastavitelná, 1 ÷ 60 sec.
Dataloger - kapacita paměti	omezená kapacitou pevného disku PC
Dataloger - perioda záznamu	1 sec. ÷ 24 hod.
Napájení	externí zdroj 8 ÷ 15V DC/ 200mA, nebo přes USB
Elektronické spínače (Logické výstupy) 4x	28V, 100mA DC
Napěťový výstup	0 ÷ 1V , max. 2mA
Rozsah pracovních teplot	0 °C ÷ 50 °C
Rozsah skladovacích teplot	-20 °C ... 70 °C
Rozměry interface XBC	153 x 120 x 42 mm
Krytí	IP40
Minimální požadavky na PC	volný port RS232 nebo USB, Doporučeno Windows XP či Windows Vista

Popis měřicího zařízení

Měřicí systém XBC se skládá z těchto částí:

- osobní počítač PC
- interface XBC
- inteligentní sonda Xxx

Jádrem celého zařízení je aplikační program XBC, který běží na počítači PC a řídí chod celého zařízení. Pomocí interface XBC program spolupracuje s připojenými inteligentními sondami. K interface mohou být připojeny až 4 inteligentní sondy, které mohou být různých typů v rámci systému. Tyto sondy snímají vlastní fyzikální veličinu a naměřená data jsou přenášena přes interface XBC do počítače. Příchozí data jsou zpracovány běžícím programem XBC a na monitoru počítače se zobrazí výsledky měření a další doprovodné údaje o celém měřicím zařízení.



Popis programu XBC Interface

XBC a uživatelé

Program je vytvořen tak, aby ho mohlo využívat více uživatelů. Mimo běžné uživatele je vyhrazeno jméno „administrator“, který má více pravomocí pro ovládání měřicího zařízení než běžní uživatelé. Administrator by měla být osoba zodpovědná za chod měřicího zařízení.

POZOR: Administrator může měnit i kalibrační konstanty, které se vkládají při výrobě. Velmi doporučujeme nepoužívat uživatele „administrator“ pro běžné měření.

Nastavení programu je ukládáno pro každého uživatele zvlášť. Každý uživatel má takto možnost přizpůsobit si měřicí zařízení podle svých požadavků, např. výběr aktivních měřicích hlavice, rozlišení apod. Avšak některé vlastnosti měřicího zařízení jsou společné pro všechny uživatele. Jsou to seznam registrovaných měřicích hlavice (sond) a kalibrační údaje.

Při prvním spuštění programu je k dispozici pouze uživatel „administrator“. Dalšího uživatele je možno vytvořit při dalším spuštění programu tak, že napíšeme nové jméno uživatele do políčka „Jméno“. Po potvrzení tohoto jména následuje dotaz na heslo pro nového uživatele.

XBC a inteligentní sondy

Měřicí zařízení umí měřit s několika měřicími hlavicemi (sondami) současně. Až 4 různé sondy je možno připojit najednou. Každé měřicí zařízení má své unikátní číslo, které se nazývá „číslo masteru“. Každá měřicí hlavice (sonda) má své unikátní číslo, které se nazývá „výrobní číslo sondy“. Ke každému měřicímu zařízení je možno registrovat až 8 různých měřicích hlavice (sond). Registrace sondy znamená, že je do sondy zapsáno číslo masteru. Tím je určeno, že sonda patří k určitému měřicímu zařízení. Sonda může měnit příslušnost k měřicím zařízením tím, že se provede registrace u jiného měřicího zařízení s jiným „číslem masteru“. Sonda ale může patřit jen k jednomu měřicímu zařízení současně. Jestliže bude chtít uživatel zaregistrovat sondu, která patří k zařízení s jiným „číslem masteru“, doporučujeme před touto registrací zrušit registraci u stávajícího měřicího zařízení.

Všechny sondy, které jsou registrovány k měřicímu zařízení, jsou zapsány v „Seznamu sond“. Každá sonda má vyhrazen svůj kanál (1 až 8), pod kterým je registrována. Z tohoto seznamu si uživatel vybere nejvýše čtyři sondy pro vlastní měření.

Spuštění programu

Po spuštění programu jste dotázáni na své uživatelské jméno a heslo. Po zadání jména se program pokusí navázat spojení s připojenými měřicími hlavicemi (sondami) a porovná jejich výrobní čísla se seznamem sond. Pokud je vše v pořádku, uvede se zařízení do takového stavu, ve kterém jste ho vypnuli. Tj. pokud byly např. před vypnutím aktivní dvě konkrétní sondy, budou aktivní ihned po spuštění programu.

Popis vzhledu

Na horní liště je umístěno společné menu pro všechny kanály. Uprostřed v hlavní části jsou jednotlivé panely měřících přístrojů, které odpovídají jednotlivým sondám. Vpravo od měřících panelů je informativní hlášení o stavu měřícího zařízení. Jsou zde informace o tom, pod kterým uživatelem systém pracuje, čas spuštění, číslo masteru, stav spínačů a stav napěťového výstupu.

Společné menu

„Nastavení“

„Měření“

Zde je možno nastavit jak často se bude měřit, tj. časový interval měření (1 až 60 sek.), a jak často se bude měřit stav baterie (u provedení s bezdrátovou komunikací).

„Nastavení“

„Komunikace“

Uživatel vybere číslo portu, na který je připojen interface XBC. Také je zde možnost volby mezi drátovou a bezdrátovou komunikací.

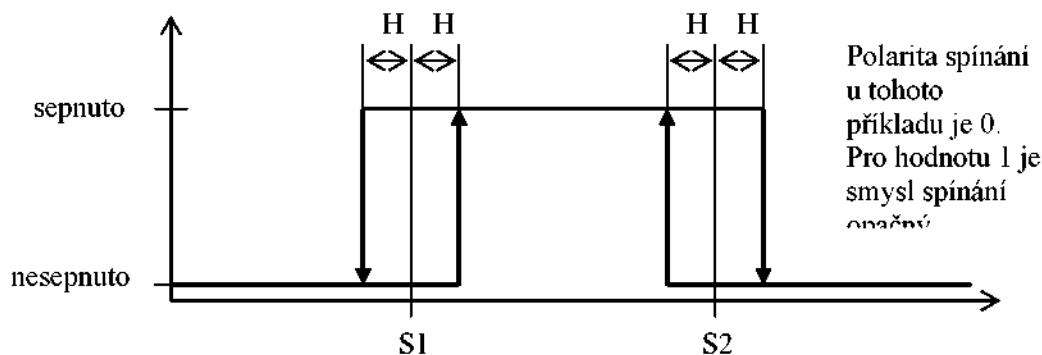
„Nastavení“

„Výstupy“

Interface systému XBC má vestavěny 4 elektronické spínače a 1 napěťový výstup. Všechny tyto výstupy jsou galvanicky oddělené od okolí. Každý spínač nebo napěťový výstup je možno přiřadit ke kanálu, který si uživatel sám zvolí. Pro spínače se nastavují tyto parametry:

- kanál, tj. sonda, ke které je spínač přiřazen
- oblast sepnutí (od S1 – do S2)
- hystereze spínače (H)
- polarita spínání (0 nebo 1)
- jednotky, ve kterých jsou parametry spínače zadány

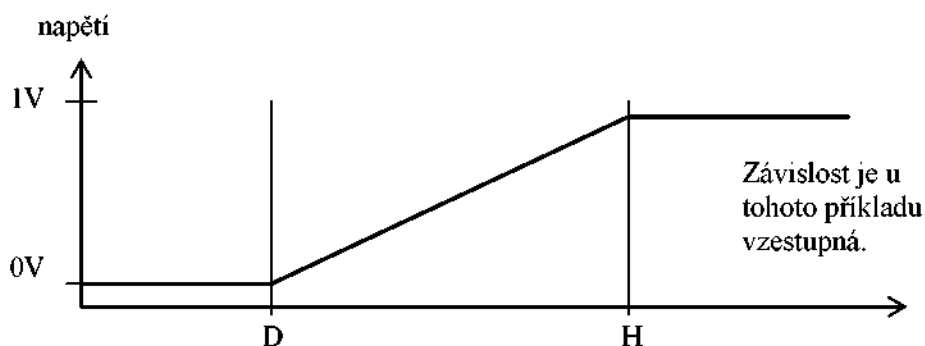
Vysvětlení podá obrázek:



Pro napěťový výstup se zadávají tyto parametry:

- kanál, tj. sonda, ke kterému je výstup přiřazen
- dolní mez (D)
- horní mez (H)
- závislost (vzestupná nebo sestupná)
- jednotky, ve kterých jsou parametry výstupu zadány

Vysvětlení podá obrázek:



„Nastavení“

➤ „Změna hesla“

Uživatel má možnost změnit své přístupové heslo.

„Sondy“

➤ „Seznam sond“

Zobrazí se tabulka, ve které jsou přehledně seřazeny všechny registrované sondy. U každé sondy je uveden

- kanál, ke kterému je sonda registrována (1 až 8)
- typ sondy (podle měřené veličiny)
- výrobní číslo
- panel – zde se mohou vyskytovat tato hlášení
 - číslo panelu (1 až 4, sonda připravena k měření)
 - panel nepřirazen (sonda je připojena k interface, ale není aktivní)
 - sonda nepřítomna (není připojena k interface)

Je-li sonda připojena k interface XBC, pak můžeme tlačítky „Aktivovat“, „Deaktivovat“ sondě přiřadit nebo nepřidat panel, tzn. určit jestli sonda bude měřit nebo nebude měřit. Tlačítkem „Odebrat sondu“ máme možnost u konkrétní sondy zrušit registraci a odebrat ji ze seznamu sond. Toto doporučujeme provést před tím, když budeme chtít sondu registrovat u jiného měřicího zařízení. Tlačítkem „Obnov seznam“ můžeme aktualizovat zobrazené údaje v seznamu sond, např. pokud si nejsme jisti, které sondy jsou právě fyzicky připojeny k interface XBC. Tlačítkem OK potvrdíme seznam sond a opustíme zobrazení seznamu sond.

„Sondy“

„Přidat sondu“

Zde máme možnost registrovat novou sondu a tím ji přidat do seznamu sond. Bez této registrace není možno se sondou pracovat. Po zadání této volby je potřeba zajistit, aby byla k interface XBC připojena pouze sonda, která má být registrována. Při registraci sondy se na monitoru zobrazí údaje o sondě a uživatel rozhodne, na který kanál bude sonda přiřazena.

„Dataloger“

Dataloger slouží k pravidelnému ukládání naměřených hodnot na pevný disk počítače do souboru. Podporované formáty:

- *.dbf databázový formát dBASE IV, umí přečíst většina tabulkových procesorů
- *.csv textový formát, hodnoty oddělené středníkem, vhodné pro export do tabulkového procesoru (někdy je potřeba v tabulkovém procesoru zadat jako oddělovač hodnot středník)
- *.csv textový formát, hodnoty oddělené čárkou, vhodné pro export do tabulkového procesoru (někdy je potřeba v tabulkovém procesoru zadat jako oddělovač hodnot čárku)
- *.txt textový formát, vhodné pro export do textového editoru
-

Mimo to, že se data ukládají do předem zadaného souboru je možno tato data prohlížet a to ve formě tabulky nebo grafu. Mimo naměřené hodnoty soubor obsahuje hlavičku s informacemi o čase, uživateli, kalibraci sond a uživatelskou poznámku o délce 300 znaků.

Stav datalogeru je zobrazen žlutým písmem v pravém horním rohu zobrazovacího pole sondy. Mohou se tu vyskytovat tato hlášení:

- | | |
|---------------|--|
| - „ “ (nic) | - dataloger je vypnut |
| - 2d 12:53:00 | - čas od spuštění datalogeru, dataloger je aktivní (2dny 12h 53 min) |
| - odl. | - dataloger má nastaven odložený start |

„Dataloger“

„Nastavení“

Dataloger je možno nastavit tak, že záznam dat bude probíhat u všech aktivních sond dohromady, nebo bude možno spouštět záznamy pro jednotlivé sondy odděleně. Jestliže je vybrána možnost pro záznam všech sond dohromady, ovládá se dataloger ze společného menu „Dataloger“ a tlačítka

„Dataloger“ na panelech jednotlivých sond jsou neaktivní. Jestliže je vybrána možnost pro záznam sond odděleně, ovládá se dataloger pomocí tlačítek na panelech jednotlivých sond.

„Dataloger“ „Záznam dat“

Před spuštěním datalogeru má uživatel možnost nastavit tyto parametry:

- jméno souboru, do kterého se budou data zaznamenávat
- rozdělit soubor - volba, jestli data uložit do jediného souboru (nerozdělovat), nebo data ukládat do zvláštních souborů po dnech, týdnech nebo měsících. V tomto případě se název souboru doplní o zkratku datumu. Např. „Název040512.dbf“ je soubor dat, jehož první den je 12. května 2004.
- interval zapisování naměřených hodnot v rozsahu 1sek. až 24hod.
- volba mezi neomezeným zapisováním nových naměřených hodnot a kruhovým zápisem posledních několika hodnot, kapacita paměti je omezena pouze volným místem na pevném disku použitého počítače
- volba aplikace digitálního filtru, pokud je pro zobrazení naměřené hodnoty na panelu přístroje použit digitální filtr, má uživatel možnost zvolit, jestli se budou ukládat hodnoty skutečně naměřené nebo přepočítané pomocí digitálního filtru
- způsob startu – ihned tlačítkem „Start“ nebo nastavit funkci s odloženým startem, kde si uživatel nastaví den a čas startu.
- poznámka, do datového souboru máme možnost vložit vlastní textovou poznámku o délce 300 znaků.

Zahájení funkce datalogeru (i při odloženém startu) se provede tlačítkem „Start“.

Ukončení funkce datalogeru se provede vždy tlačítkem „Stop“.

„Dataloger“ „Prohlížení dat“ „Tabulka“

Tato funkce dovoluje prohlížet aktuálně uložené hodnoty datalogeru ve formě textové tabulky. Prohlížet je možno během činnosti datalogeru, nebo po jejím ukončení do dalšího startu datalogeru. Starší data je pak možné prohlížet ze souboru, do kterého byla ukládána, ne však touto funkcí.

Tabulku jedné vybrané sondy je možno vytisknout pomocí tlačítka „Vytisknout“. Data k tisku se vybírají podle výrobního čísla sondy.

„Dataloger“

➤ „Prohlížení dat“

➤ „Graf“

Tato funkce dovoluje prohlížet aktuálně uložené hodnoty datalogeru ve formě grafu. Před zobrazením grafu si uživatel vybere pro prohlížení jednu z nabídnutých sond. Sondy se vybírají podle výrobního čísla sondy. Prohlížet je možno během činnosti datalogeru, nebo po ukončení činnosti do dalšího startu datalogeru. Starší data je pak možné prohlížet ze souboru, do kterého byla ukládána, ne však touto funkcí.

Pod vlastním grafem je několik ovládacích a zobrazovacích prvků:

- kurzor

- po povolení této funkce (zaškrtačací pole „aktivní“) je možno pomocí kurzoru určit přesnou hodnotu vybraného bodu v grafu, zobrazovací okénka pro polohu kurzoru jsou umístěna vedle zaškrtačacího pole „aktivní“.

- časová lupa

- její funkce souvisí s kurzorem, po stisku tlačítka „+2x“ se zobrazí výřez grafu kolem kurzoru s časovou osou 2x podrobnější, po stisku tlačítka „-2x“ se zobrazí graf kolem kurzoru s časovou osou 2x méně podrobnou, po stisku tlačítka „Vše“ se zobrazí graf se všemi naměřenými vzorky.

- Do schránky

- uloží graf do schránky jako obrázek, odtud ho můžeme přesunout do libovolné aplikace, pomocí příkazu „Vložit“ (např. textový procesor, tabulkový procesor, program pro malování...)

- Tisk

- Vytiskne graf

- Nastavení zde je možno nastavit některé vlastnosti grafu

- zadat jméno grafu a popisky jednotlivých os
- způsob zobrazení hodnot (spojnice, značky, spojnice a značky)
- zobrazení osy X – času (čas od spuštění, reálný čas)
- měřítko osy Y (automatické, ruční)

- Zavřít

- zavře graf

Panel přístroje

Měřicí panel představuje čelní panel měřicího přístroje, který je simulován počítačem. Každý panel odpovídá konkrétní měřicí hlavici (sondě), která je registrována, je připojena k měřicímu zařízení a je aktivní. Na panelu jsou přehledně zobrazeny údaje sondy, se kterou se měří, tj. typ sondy, výrobní číslo a také číslo kanálu, ke kterému je sonda registrována. Dále je na panelu několik tlačítek:

„Nastavení“

Slouží k otevření menu detailního nastavení panelu. Viz. níže.

„Dataloger“

Viz předchozí popis funkce datalogeru.

„Ulož“, „Zobraz“

Tato tlačítka slouží k ukládání a prohlížení naměřených hodnot v datové uživatelské paměti. Uložení naměřené hodnoty lze provést tlačítkem „Ulož“ nebo jednou s kláves F5+F8 (podle pořadí zobrazení příslušného panelu přístroje shora dolů). Počet uložených hodnot je omezen na 300. Každá hodnota je uložena pod svým pořadovým číslem. Číslo pod kterým bude hodnota uložena je zobrazeno u tlačítka „Ulož“. Po každém uložení se číslo zvětší o jedna. Uživatel má možnost toto číslo ručně změnit. Při uložení naměřené hodnoty má uživatel navíc možnost tento záznam pojmenovat (8 znaků) a vložit poznámku (150 znaků). Pokud jméno záznamu končí číslem, je toto číslo při každém uložení zvětšeno o nastavenou hodnotu. Po stisku tlačítka „Zobraz“ se otevře okno se seznamem všech uložených hodnot. Ke každé naměřené hodnotě se zobrazí tyto další údaje:

- pořadové číslo
- jméno záznamu
- čas měření
- údaj hlavní veličiny
- údaj vedlejší veličiny
- poznámka

Uživatel má možnost listovat seznamem, vytisknout jej, uložit na disk počítače do souboru, nebo celý seznam vymazat. Vymazat jednu položku uživatel může stiskem klávesy „Del“. Stiskem tlačítka „**Jméno a poznámka**“ má uživatel možnost k jednotlivým záznamům dodatečně vložit jméno záznamu a poznámku, nebo je editovat. To, že záznam obsahuje poznámku, je signalizováno znakem „*“ u pořadového čísla.

Podporované formáty pro uložení do souboru:

- *.dbf databázový formát dBASE IV, umí přečíst většina tabulkových procesorů
- *.csv textový formát, hodnoty oddělené středníkem, vhodné pro export do tabulkového procesoru (někdy je potřeba v tabulkovém procesoru zadat jako oddělovač hodnot středník)
- *.csv textový formát, hodnoty oddělené čárkou, vhodné pro export do tabulkového procesoru (někdy je potřeba v tabulkovém procesoru zadat jako oddělovač hodnot čárku)
- *.txt textový formát, vhodné pro export do textového editoru

Na zobrazovacím poli panelu jsou zobrazeny tyto údaje:

- hlavní veličina - velké modré číslice
- statistické údaje - zelené číslice, statistické údaje počítané z hlavní veličiny
- vedlejší veličina - červené číslice, teplota, nebo jiná veličina
- stav sondy - žluté znaky a číslice (ATC, AR, stav datalogeru apod.)

„Nastavení“ (*menu pro nastavení vlastností panelu*)

Po kliknutí na tlačítko „Nastavení“ se otevře okno se záložkami, kde lze nastavit měřicí panel podle přání uživatele.

„Vedlejší veličina“

Pro každý typ sondy jsou veličiny, ze kterých si uživatel může vybrat. Zpravidla tu bývá teplota, popřípadě jiné zobrazení hlavní veličiny.

„Hlavní veličina“ nebo „Rozlišení“

Zde je možno zadat s jak vysokým rozlišením naměřené údaje zobrazovat. Vztahuje se k hlavní veličině a statistickým údajům.

„Teplotní kompenzace“

Pokud hlavní veličina vyžaduje teplotní kompenzaci, jsou zde možnosti nastavení, které jsou pro každý typ měřicí hlavice různé. Zpravidla vždy tu bývá možnost ruční nebo automatické teplotní kompenzace. Jestliže je automatická teplotní kompenzace zapnuta, bude na zobrazovacím poli panelu svítit text „ATC“.

„Digitální filtr“

Pokud je signál měřené veličiny nestabilní a projevuje se kolísáním hodnoty hlavní veličiny, je možné nestabilitu potlačit vhodným digitálním filtrem. Jestliže si uživatel vybere některý z nabízených filtrů, bude se zobrazovat hlavní veličina přepočítaná podle algoritmů filtru. Na výběr jsou tyto algoritmy:

- **Průměr** - výsledná hodnota se vypočítá jako aritmetický průměr ze zadaného počtu posledních naměřených hodnot
- **Omezení špiček** - ze zadaného počtu posledních naměřených hodnot se vypustí 20% nejvyšších a 20% nejnižších hodnot a ze zbylých se pak vypočítá aritmetický průměr

Pro výpočet jsou brány hodnoty z kruhové datové paměti, která má kapacitu 200 posledních naměřených hodnot. Obsah kruhové datové paměti si uživatel má možnost prohlédnout, jestliže stiskne tlačítko „Kruhová paměť“. Hodnoty z kruhové paměti se také používají pro výpočty statistických funkcí.

„Statistika“

Uživatel má možnost si vybrat pro zobrazení z několika statistických funkcí, které se vztahují k hlavní veličině:

- **Min-Max** - *minimální a maximální hodnota za celé měření*
- **Průměr** - *aritmetický průměr z určitého počtu posledních hodnot*
- **Přírůstek** - *změna hodnoty za určitý čas (počet naměřených hodnot)*
- **Směrodatná odchylka** - *statistické číslo vyjadřující rozptyl naměřených hodnot, počítá se z určitého počtu posledních hodnot*

Statistické funkce se počítají z hodnot uložených v kruhové datové paměti. Obsah kruhové datové paměti si uživatel má možnost prohlédnout, jestliže stiskne tlačítko „**Kruhová paměť**“. Zde je možno také obsah kruhové paměti vymazat, tím se vymažou předchozí statistická data a výpočet začne od počátku. Data z kruhové paměti se používají také k funkci digitálního filtru.

„Komparátor“

Komparátor je funkce, která umožňuje obsluze signalizovat překročení zadaných mezí.

- **komparátor hlavní veličiny** - jestliže se měřená veličina pohybuje mezi horní a dolní mezí, je barva hodnoty hlavní veličiny modrá, jestliže se měřená veličina pohybuje mimo horní a dolní mezí, je barva hodnoty hlavní veličiny oranžová

Příklad použití: Komparátor hlavní veličiny je možno použít pro indikaci, zda měřená veličina nepřekročila nastavené meze. Další možnost využití je pro rychlé třídění vzorků podle zadaných mezí.

- **komparátor přírůstku** - jestliže se přírůstek hlavní veličiny za zvolený počet hodnot pohybuje mezi horní a dolní mezí, je barva hodnoty hlavní veličiny modrá, jestliže se přírůstek hlavní veličiny pohybuje mimo horní a dolní mezí, je barva hodnoty hlavní veličiny oranžová.

Příklad použití: Jestliže zadáme například pro pH meze přírůstku $-0,1$ a $+0,1$ za 60 naměřených hodnot (tj. 60 sek.), je možno použít komparátor přírůstku pro indikaci ustálení hodnoty měřené veličiny. Jestliže zadáme pro pH meze přírůstku 0 a 14 za 30 naměřených hodnot (tj. 30 sek.), je možno použít komparátor přírůstku pro indikaci, zda má hodnota měřené veličiny klesající nebo rostoucí tendenci.

„Kalibrace“

Kalibrace je proces získávání kalibračních údajů, které měřicí zařízení potřebuje k přesnému měření. Vlastní průběh kalibrace začne stiskem tlačítka „**Průvodce kalibrací**“. Průběh kalibrace je u každého typu sondy jiný a je popsán samostatně. Výsledky kalibrace si uživatel může prohlédnout nebo vytisknout. Po dokončení kalibrace jsou vždy výsledky zapsány do kalibračního protokolu

Měřicí hlavice XB2 - pH, ORP, ISE

Pomocí této měřicí hlavice je možno měřit několik veličin s různými typy senzorů. Sensory se připojují k měřicí hlavici pomocí konektoru, který je skryt uvnitř hlavice. Po připojení senzoru měřicí systém rozezná druh měřené veličiny aniž by uživatel musel něco nastavovat a systém je připraven k měření případně ke kalibraci. **POZOR!**, po výměně senzoru i za stejný typ se stávají kalibrační údaje patřící k této měřicí hlavici neplatné. K dispozici jsou tyto druhy senzorů:

- **pH vč. teploty**
- **ORP** – redukčně-oxidační potenciál (redox)
- **ISE** – měření iontově selektivními elektrodami

Technické parametry měřicí hlavice XB2	
Napájení sondy	kabelem přes interface XBC
Krytí	IP40, v ponorném provedení IP 68
Rozsah měření teploty	-20 ÷ 120 °C
Přesnost měření teploty	± 0,2 °C; ± 1dig.
Rozsah měření pH ; mV	-1,000 ÷ 15,000 pH; -1200,0 ÷ 1200,0 mV
Přesnost měření pH ; mV	± 0,004; ± 0,01 %; ± 1dig.
Vstupní odpor pro pH; mV	10 ¹² Ω
Teplotní kompenzace	automatická, ruční -10 ÷ 110 °C

Měření pH

Vedlejší měřená veličina:

Při měření pH je možno měřit tyto vedlejší veličiny:

- **teplota měřeného vzorku (°C)** – používá se pro teplotní kompenzaci
- **elektrické napětí (mV)** – jde o výpočet neupravený signál skleněné kombinované pH elektrody

Kalibrace pH sondy

„Nastavení“

➤ „Kalibrace“

➤ „Průvodce kalibrací“

Kalibrace se spustí tlačítkem „Průvodce kalibrací“, které je umístěné v menu „Nastavení“ měřicího panelu, v záložce „Kalibrace“.

Nejdříve se zobrazí úvodní stránka, kde si uživatel může vybrat, s jakými pufrů chce provést kalibraci. Pro kalibraci uživatel může vybrat 2 až 5 různých pufrů. Přednastavené hodnoty pufrů je možno změnit. Další možnost volby je automatická detekce ustálení signálu sondy. Tato funkce rozpozná, jestli je signál sondy při kalibraci již ustálený a automaticky ukončí měření pufru. Tlačítkem „Další“ se uživatel přesune na následující stránku, kde se provádí vlastní kalibrace. Na stránce jsou pod sebou seřazeny ovládací tlačítka jednotlivých pufrů. Vybereme si jeden z nich (není nutné zachovávat žádné pořadí), ponoříme elektrodu sondy do příslušného pufru a stiskneme „Start“. Zobrazí se pohyblivý obrazec, který pohybem znázorňuje změnu signálu sondy. V okamžiku kdy se pohyb obrazce zastaví, znamená to, že se signál sondy ustálil. Pokud máme zvolenu automatickou detekci ustálení, počítač ustálení detekuje sám. Jestliže chce uživatel rozhodnout sám o ustálení, stiskne tlačítko „Stop“. Po stisku tlačítka se u příslušného pufru zobrazí hlášení „hotovo“. Pod seznamem pufrů vybraných ke kalibraci se nachází políčko „podrobně“. Jestliže jej uživatel zaškrtně,

objeví se informace o právě měřeném pufru; elektrické napětí (signál pH elektrody) a přírůstek elektrického napětí za 30 sek.

Pokud byla provedena kalibrace u všech pufrů, může uživatel tlačítkem „Další“ přejít na následující stránku, kde jsou zobrazeny výsledky kalibrace. Jsou zde zobrazeny všechny kalibrační body, je tu také zhodnocení korektnosti průběhu a výsledku kalibrace. Jestliže s výsledky uživatel souhlasí, může zvolit tlačítko „Dokončit“. Výsledek kalibrace je tak zapsán do kalibračního protokolu.

„Nastavení“

➤ „Kalibrace“

➤ „Kontrola kalibrace“

Uživatel má možnost provést kontrolní měření a tím určit přesnost měření, popřípadě potřebu kalibrace. Toto kontrolní měření se archivuje a je uvedeno v protokolu, který je možno vytisknout.

Po stisku tlačítka „Kontrola kalibrace“ se objeví okno, kde má uživatel možnost nastavit hodnotu pufru, se kterým bude porovnávat naměřenou veličinu. Poté uživatel vloží senzor sondy do zvoleného pufru a zvolí tlačítko „Start“. Podobně jako u kalibrace se zobrazí pohyblivý obrazec, který znázorňuje ustalování signálu sondy. Po ustálení (opět má uživatel možnost zvolit detekci ustálení automaticky) stiskne uživatel tlačítko „Stop“. Zobrazí se výsledek kontrolního měření. Jestliže chceme výsledek archivovat stiskneme tlačítko „OK“. V případě volby „Zrušit“ se výsledek kontrolního měření neukládá.

„Nastavení“

➤ „Kalibrace“

➤ „Protokol“

V tomto okně si uživatel může prohlédnout výsledky kalibrace, případně výsledky kontroly kalibrace. Tlačítkem „Tisk“ je možno protokol vytisknout. Tlačítko „Historie“ zobrazí kompletní seznam všech událostí, které se vztahují k této konkrétní sondě. Tento seznam lze uživatelem administrator uložit do textového souboru, popřípadě vymazat.

Seznam ukládaných událostí:

- protokol kalibrace
- protokol kontroly kalibrace
- začátek a konec měření
- překročení rozsahu měření

„Nastavení“

➤ „Kalibrace“

➤ „Kalibrace teploty“ - pouze pro administratora

Pokud je uživatelem administrator, má možnost kalibrovat i teplotu. Teplota je nakalibrována už od výroby a nepředpokládá se její další kalibrace. Teplotu doporučujeme kalibrovat jen v případě potřeby a jen zkušeným uživatelem. Teplota se kalibruje změnou kalibračních konstant. Postup je následující. Nejprve vložíme teplotní senzor do kapaliny, která má 0°C (např. voda s ledovou tříští). Změnou kalibrační konstanty „A“ nastavíme naměřenou hodnotu na 0,0°C. Poté ponoříme teplotní senzor do kapaliny o známé teplotě a změnou konstanty „B“ nastavíme strmost. Tlačítkem „Reset“ můžeme nastavit teoretické hodnoty kalibračních konstant. Tlačítkem „OK“ se provede uložení nových kalibračních hodnot. Tlačítkem „Zrušit“ kalibraci opustíme bez uložení kalibračních hodnot.

„Nastavení“

➤ „Kalibrace“

➤ **„Kalibrační meze“** - pouze pro administrátora

Pokud je uživatelem administrátor, má zde možnost nastavit kalibrační meze, podle kterých se vyhodnocuje úspěšnost kalibrace. Kalibrace se vyhodnotí jako úspěšná, jestliže se výsledky kalibrace vejdou do intervalů vybraných mezí.

	strmost (mV/pH)		napětí v bodě pH 7 (mV)
	dílčí	průměrná	
laboratorní	-45 až -70	-45 až -70	-30 až 30
provozní	-38 až -70	-40 až -70	-30 až 30
uživatelské	x až x	x až x	y až y

x a y jsou uživatelsky volně editovatelná čísla.

pro zadávání x platí omezení -20 až -80

pro zadávání y platí omezení -500 až 500

Poznámka:

Laboratorní kalibrační meze jsou přísnější než provozní a jsou přednastavené, tj. pokud uživatel neprovede změnu, bude se kalibrace vyhodnocovat podle těchto mezí. Jestliže chce uživatel dosáhnout vysoké přesnosti měření, doporučujeme ponechat nastavení na laboratorních kalibračních mezích.

Měření ORP

Vedlejší měřená veličina:

Vedlejší veličina je pouze **teplota**.

Vzhledem k tomu že měření ORP není třeba teplotně kompenzovat, dodávají se většinou elektrody ORP bez teplotního senzoru.

Kalibrace ORP elektrody (pouze pro administrátora):

„Nastavení“

➤ „Kalibrace“

➤ „Průvodce kalibrací“

Kalibrace se spustí tlačítkem **„Průvodce kalibrací“**, která je přístupná pouze pro administrátora. Od výroby je měření ORP zkalibrováno tak, že ukazuje skutečné elektrické napětí. Některé senzory ORP však vyžadují kalibrovat posun nulového bodu.

V okně kalibrace má administrátor možnost kalibrovat měření ORP. Tato kalibrace je stejná jako kalibrace ISE (kalibrace napětí) a používá stejné kalibrační konstanty. Průběh kalibrace je podobný jako kalibrace teploty a stejně jako teplota je měření elektrického napětí kalibrováno při výrobě a nepředpokládá se častá kalibrace. Kalibruje se změnou kalibračních konstant. Nejprve nastavíme nulový bod. Vložíme senzor do roztoku s nulovým potenciálem a změnou kalibrační konstanty **„A“** nastavíme naměřenou hodnotu na 0,0mV. Místo roztoku s nulovým potenciálem můžeme použít i jiný co nejbližší nulové hodnoty. Poté ponoříme senzor do roztoku o známém potenciálu a změnou konstanty **„B“** nastavíme strmost. Tlačítkem **„Reset“** můžeme nastavit teoretické hodnoty kalibračních konstant. Tlačítkem **„Dokončit“** se kalibrace ukončí.

„Nastavení“

➤ „Kalibrace“

➤ „Kalibrace teploty“

Pokud je uživatelem administrátor, má možnost kalibrovat i teplotu. Teplota je nakalibrována už od výroby a nepředpokládá se její další kalibrace. Teplotu doporučujeme kalibrovat jen v případě potřeby a jen zkušeným uživatelem. Teplota se kalibruje změnou kalibračních konstant. Postup je následující. Nejprve vložíme teplotní senzor do kapaliny, která má 0°C (např. voda s ledovou tříští). Změnou kalibrační konstanty **„A“** nastavíme naměřenou hodnotu na 0,0°C. Poté ponoříme teplotní senzor do kapaliny o známé teplotě a změnou konstanty **„B“** nastavíme strmost. Tlačítkem **„Reset“** můžeme nastavit teoretické hodnoty kalibračních konstant. Tlačítkem **„OK“** se provede uložení nových kalibračních hodnot. Tlačítkem **„Zrušit“** kalibraci opustíme bez uložení kalibračních hodnot.

„Nastavení“

➤ „Kalibrace“

➤ „Historie“

V tomto okně si uživatel může prohlédnout kompletní seznam všech událostí, které se vztahují k této konkrétní sondě. Tento seznam lze uživatelem administrátor uložit do textového souboru, popřípadě vymazat.

Seznam ukládaných událostí:

- kalibrace
- začátek a konec měření

Měření ISE

Hlavní měřená veličina:

Pro zobrazení hlavní měřené veličiny má uživatel tyto možnosti:

- koncentrace g/l
- koncentrace mol/l
- elektrické napětí (mV) – jde o výpočtem neupravený signál ISE elektrody proti referenční elektrodě

Hodnotu koncentrace lze navíc zobrazovat v rozlišení na 2 nebo 3 platné číslice.

Vedlejší měřená veličina:

Při měření ISE je možno měřit tyto vedlejší veličiny:

- teplota měřeného vzorku (°C)
- elektrické napětí (mV) – jde o výpočtem neupravený signál ISE elektrody proti referenční elektrodě

Výběr látky:

Pro měření ISE je výběr z těchto přednastavených látek:

Zobrazení veličiny	Převod 1 mol/l = x g/l	mocenství (náboj)
NO ₃ ⁻	62	-1
K ⁺	39	1
S ²⁻	32.1	-2
Ag ⁺	108	1
Na ⁺	23	1
SCN ⁻	58	-1
Ba ²⁺	137	2
Li ⁺	6.9	1
ClO ₄ ⁻	99.5	-1
CO ₂	44	*
Cl ⁻	35.5	-1
Cu ²⁺	63.5	2
CN ⁻	26	-1
F ⁻	19	-1
BF ₄ ⁻	87	-1
I ⁻	127	-1
Pb ²⁺	207	2
NH ₄ ⁺	18	1
NH ₃	17	*
Br ⁻	80	-1
Cd ²⁺	112	2
Ca ²⁺	40.8	2

* nejedná se o typické ISE elektrody (neměří ionty), ale o plynové elektrody.

Dále si uživatel může do tohoto seznamu doplnit 4 vlastní látky (tlačítko „Přidat“), popřípadě je měnit (tlačítko „Editovat“).

Hodnota ve sloupci převod má tento význam:

$$\text{Koncentrace(g/l)} = \text{převod} \cdot \text{koncentrace(mol/l)}$$

Pro správné měření musí uživatel vybrat v tomto seznamu měřenou látku a připojit k sondě odpovídající elektrodu.

Kalibrace ISE sondy

„Nastavení“

➤ „Kalibrace“

➤ „Průvodce kalibrací“

Kalibrace se spustí tlačítkem „Průvodce kalibrací“, které je umístěné v menu „Nastavení“ měřicího panelu, v záložce „Kalibrace“.

Nejdříve se zobrazí úvodní stránka, kde si uživatel může vybrat, s jakými kalibračními roztoky chce provést kalibraci. Pro kalibraci uživatel může vybrat 2 až 5 různých kalibračních roztoků. Hodnoty přednastavených kalibračních roztoků je možno změnit. Další možnost volby je automatická detekce ustálení signálu sondy. Tato funkce rozpozná, jestli je signál sondy při kalibraci již ustálený a automaticky ukončí měření tohoto kalibračního roztoku. Tlačítkem „Další“ se uživatel přesune na následující stránku, kde se provádí vlastní kalibrace. Na stránce jsou pod sebou seřazeny ovládací tlačítka jednotlivých kalibračních roztoků. Vybereme si jeden z nich (není nutné zachovávat žádné pořadí), ponoříme elektrodu do příslušného kalibračního roztoku a stiskneme „Start“. Zobrazí se pohyblivý obrazec, který pohybem znázorňuje změnu signálu sondy. V okamžiku kdy se pohyb obrazce zastaví, znamená, že se signál sondy ustálil. Pokud máme zvolenu automatickou detekci ustálení, počítač ustálení detekuje sám. Jestliže chce uživatel rozhodnout sám o ustálení, stiskne tlačítko „Stop“. Po stisku tlačítka se u příslušného kalibračního roztoku zobrazí hlášení „hotovo“.

Pokud byla provedena kalibrace u všech kalibračních roztoků, může uživatel tlačítkem „Další“ přejít na následující stránku, kde jsou zobrazeny výsledky kalibrace. Jsou zde zobrazeny všechny kalibrační body, je tu také zhodnocení korektnosti průběhu a výsledku kalibrace. Jestliže s výsledky uživatel souhlasí, může zvolit tlačítko „Dokončit“. Výsledek kalibrace je tak zapsán do kalibračního protokolu.

Podmínky pro platnou kalibraci ukazuje tabulka. Jsou v ní hodnoty strmosti mezi jednotlivými kalibračními roztoky.

	Aniont (-1 ÷ -4)	Kationt (1 ÷ 4)
1 mocný iont	-47 ÷ -70 mV/px	47 ÷ 70 mV/px
2 mocný iont	-23 ÷ -35 mV/px	23 ÷ 35 mV/px
3 mocný iont	-15 ÷ -24 mV/px	15 ÷ 24 mV/px
4 mocný iont	-12 ÷ -18 mV/px	12 ÷ 18 mV/px

„Nastavení“

➤ „Kalibrace“

➤ „Kalibrace napětí“ - pouze pro administrátora

Kalibrace se spustí tlačítkem „Kalibrace napětí“, která je přístupná pouze pro administrátora.

V okně kalibrace má administrátor možnost kalibrovat měření elektrické napětí. Tato kalibrace je stejná jako kalibrace ORP a používá stejné kalibrační konstanty. Průběh kalibrace je podobný jako kalibrace teploty a stejně jako teplota je měření elektrického napětí kalibrováno při výrobě a nepředpokládá se častá kalibrace. Kalibruje se změnou kalibračních konstant. Nejprve nastavíme nulový bod. Vložíme senzor do roztoku s nulovým potenciálem a změnou kalibrační konstanty „A“ nastavíme naměřenou hodnotu na 0,0mV. Místo roztoku s nulovým potenciálem můžeme použít i jiný co nejblíže nulové hodnoty. Poté ponoříme senzor do roztoku o známém potenciálu a změnou konstanty „B“ nastavíme strmost. Tlačítkem „Reset“ můžeme nastavit teoretické hodnoty kalibračních konstant. Tlačítkem „Dokončit“ se kalibrace ukončí.

„Nastavení“

➤ „Kalibrace“

➤ „Protokol“

V tomto okně si uživatel může prohlédnout výsledky kalibrace. Tlačítkem „Tisk“ je možno protokol vytisknout. Tlačítko „Historie“ zobrazí kompletní seznam všech událostí, které se vztahují k této konkrétní sondě. Tento seznam lze uživatelem administrator uložit do textového souboru, popřípadě vymazat.

Seznam ukládaných událostí:

- protokol kalibrace
- začátek a konec měření
- překročení rozsahu měření

„Nastavení“

➤ „Kalibrace“

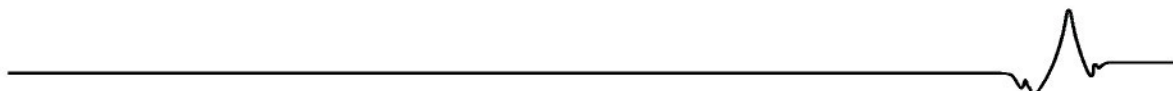
➤ „Kalibrace teploty“ - pouze pro administratora

Pokud je uživatelem administrator, má možnost kalibrovat i teplotu. Teplota je nakalibrována už od výroby a nepředpokládá se její další kalibrace. Teplotu doporučujeme kalibrovat jen v případě potřeby a jen zkušeným uživatelem. Teplota se kalibruje změnou kalibračních konstant. Postup je následující. Nejprve vložíme teplotní senzor do kapaliny, která má 0°C (např. voda s ledovou tříští). Změnou kalibrační konstanty „A“ nastavíme naměřenou hodnotu na 0,0°C. Poté ponoříme teplotní senzor do kapaliny o známé teplotě a změnou konstanty „B“ nastavíme strmost. Tlačítkem „Reset“ můžeme nastavit teoretické hodnoty kalibračních konstant. Tlačítkem „OK“ se provede uložení nových kalibračních hodnot. Tlačítkem „Zrušit“ kalibraci opustíme bez uložení kalibračních hodnot.

Uživatelská paměť, Dataloger:

Při ukládání hodnot koncentrace v g/l a mol/l se používá exponenciální tvar čísla. Hodnota pak vypadá jako následující příklady:

1,0e0 g/l	...	1,0 g/l
1,0e-3 g/l	...	1,0 mg/l
1,0e-6 g/l	...	1,0 µg/l
1,0e0 mol/l	...	1,0 mol/l
1,0e-3 mol/l	...	1,0 mmol/l
1,0e-6 mol/l	...	1,0 µmol/l



Komunikační protokol mezi sondami a XBC interface

Každý MASTER (Terminál) má možnost k sobě připojit až 8 různých sond, ale měřit může jen se 4 sondami najednou. Každá připojená sonda má přidělenou svoji pozici 0-7. Uživatel si musí zvolit, které sondy bude používat momentálně k měření. Data se vysílají v binárním tvaru zakódované viz.níže.

Skladba komunikace

Vysílání MASTER (Terminál)

úvod (bez kódování) START - 4x 0F0H pro nastavení citlivosti přijímače (preamble)
 "0011 1010" (:)
kódovaná data - ADRM1, ADRM2, příkaz, příkaz, příkaz, příkaz, kontr.součet
konec (bez kódování) "CR" (13)

Vysílání SLAVE (Sonda)

úvod (bez kódování) START - 4x 0F0H pro nastavení citlivosti přijímače (preamble)
 "1100 1100" (204)
kódovaná data - ADRM1,ADRM2,0000 0AAA,Data, Data, Data, Data, kontr.součet
konec (bez kódování) "CR" (13)

ADRM1, ADRM2 - adresa MASTERu

AAA - pozice sondy (0-7)

Data se vysílají kódovaně podle následujícího klíče.

nekódovaný byte A B A,B jsou půlky byte
zakódovaný byte (výsledek jsou 2 byte) A not(A), not(B) B

kontrolní součet - počítá se jen zakódovaná část bez KS samotného. To vše MOD 100H.

Časové rozdělení toku dat:

MASTER, pauza 5ms, SLAVE0, SLAVE1, SLAVE2, SLAVE3

Přenos zahájí MASTER tím, že se podívá jestli je datová linka prázdná. Jestliže po dobu 50ms nikdo nevysílá, zahájí komunikaci se svými SLAVE.

Měření dat

Měření dat a teploty

0000 0100, TTT0RRRR, AAAA AAAA, tepkor

TTT- pozice pro platnost "tepkor" a RRRR

RRRR- číslo rozsahu

AAAA AAAA- pozice sond, které mají odpovídat

0.....7 pozice

např. 1011 0000 - odpovídat budou sondy na pozici 0,2,3

tepkor - prozatím vyhrazeno (v budoucnu možná údaje pro teplotní korekci)

odpověď: Data hl.velič., Data hl.velič., Teplota, Teplota

Měření dat a stavu baterie

0001 0000, TTT0 RRRR, AAAA AAAA, tepkor

TTT- pozice pro platnost "tepkor" a RRRR

RRRR- číslo rozsahu

AAAA AAAA- pozice sond, které mají odpovídat

0.....7 pozice

např. 1011 0000 - odpovídat budou sondy na pozici 0,2,3

odpověď: Data hl.velič., Data hl.velič., StavBaterie, StavBaterie

Příkazy pro kalibraci

Čtení kalibračních dat ze sondy

0000 1000, AAA0 XXXX, 00H, 00H

na tento příkaz odpovídá jedna konkrétní sonda

AAA - pozice sondy (0-7)

XXXX - adresa (číslo) dat, jedno kalibrační číslo je 16bitové slovo

odpověď: 2 kalibrační čísla (4 byte) od adresy XXXX

Zápis kalibračních dat do sondy

0000 1100, AAA0 XXXX, kalib.data, kalib.data

data jsou určeny pro jednu konkrétní sondu, a pouze tato sonda odpovídá

AAA - pozice sondy (0-7)

XXXX - adresa (číslo) dat, jedno kalibrační číslo je 16bitové slovo

odpověď: 00H, 00H, 00H, 00H

Příkazy pro změnu režimu sondy

Přepnutí sond do režimu SLEEP

0000 0001, 00H, AAAA AAAA, 00H přepne aktivní sondy podle masky do režimu SLEEP

AAAA AAAA - pozice sondy 1 - ACTIV, 0 - SLEEP
0.....7 pozice

odpověď: jako při Měření dat a teploty, odpovídají pouze sondy aktivní po tomto příkazu

Nastavení periody měření

0000 0010, 00H, AAAA AAAA, PP

nastavení periody měření, tj. interval mezi dvěma příkazy Terminálu. Příkaz platí pro všechny sondy, které jsou aktivní. Po zapnutí nebo resetu nebo probuzení sondy do stavu AKTIV je nastavena na 1 sek.

AAAA AAAA - pozice sondy pro odpověď
0.....7 pozice
PP - perioda v sekundách

odpověď: jako při Měření dat a teploty

Probuzení z režimu SLEEP

0000 0011, 00H, AAAA AAAA, 00H

Příkaz se bude vysílat 10sek. neustále za sebou a bude se spoléhat, že se sondy vzbudily. Sonda se probouzí asi jednou za 6sek. a testuje, jestli ji někdo nevolá.

AAAA AAAA - pozice sondy 1 - ACTIV, 0 - SLEEP
0.....7 pozice

odpověď: sonda neodpovídá, předpokládá se přijetí příkazu

Test přítomnosti sondy

0001 1000, AAA0 0000, 00H, 00H

test přítomnosti sondy, čtení vnitřních informací o sondě. Odpoví jen jedna přesně adresovaná sonda. Master má možnost zjistit, jaké sondy jsou k terminálu připojeny.

AAA - pozice sondy (0-7)

odpověď: TT, VČ, VČ, VČ
VČ - výrobní číslo
TT - typ sondy (pH-1, OXY-2,)

Tabulka glykemických indexů potravin

Referenční hodnotou je glukóza (GI = 100)

Pivo	110
Glukóza	100
Rýžová mouka	95
Brambory pečené v troubě	95
Smažené hranolky	95
Burizony	95
Bramborová kaše	90
Předvařená rýže	90
Med	90
Vařená mrkev	85
Corn flakes	85
Popcorn (bez cukru)	85
Mouka pšeničná	85
Bageta	85
Chipsy	80
Tykev	75
Meloun vodní	75
Sladké (snídaňové) obilniny	70
Čokoládová tyčinka (typ Mars)	70
Cukr (sacharóza)	70
Brukev	70
Maizena	70
Kukuřice	70
Předvařená neslepitelná rýže	70
Coca cola	70
Nudle, ravioly	70
Celozrnný chléb	65
Brambory vařené ve slupce	65
Krupice (mletá)	65
Klasická zavařenina	65
Medový meloun	65
Banán	65
Pomerančový džus průmyslový	65
Hrozinky	65
Bílá dlouhá rýže	60
Slané sušenky	55
Máslové sušenky	55
Normálně vařené bílé těstoviny	55
Mouka z pohanky	50
Palačinka pohanková	50
Sladké brambory	50
Kiwi	50
Rýže basmati	50
Rýže tmavá natural (hnědá)	50
Sorbet	50
Chléb otrubový	45

Celý bulgur (vařený)	45
Špagety vařené al dente	45
Chléb čemý německý	40
Čerstvý hrášek	40
Hroznové víno	40
Šťáva z čerstvého pomeranče	40
Přírodní jablečná šťáva	40
Chléb žitný celozrnný	40
Těstoviny celozrnné	40
Fazole červené	40
Indická kukuřice	35
Planá (indiánská) rýže	35
Amarant	35
Kukuřice indiánská původní	35
Qinoa (vařená)	35
Hrách sušený (vařený)	35
Mrkev syrová	35
Jogurt	35
Jogurt light	35
Pomeranč	35
Hruška, fík	35
Meruňky sušené	35
Mléko (polotučné)	30
Broskev	30
Jablko	30
Fazole bílé	30
Fazole zelené	30
Čočka hnědá	30
Cizrna (vařená)	30
Marmeláda ovocná bez cukru	30
Čokoláda hořká 70 % kakaa	22
Čočka zelená	22
Loupaný hrách	22
Třešně	22
Švestka, grapefruit	22
Fruktóza	20
Sója (vařená)	20
Burské oříšky	20
Meruňky čerstvé	20
Ořechy vlašské	15
Cibule	10
Česnek	10
Kořenová zelenina, houby, rajčata, paprika, zelí, brokolice, atd.	10

























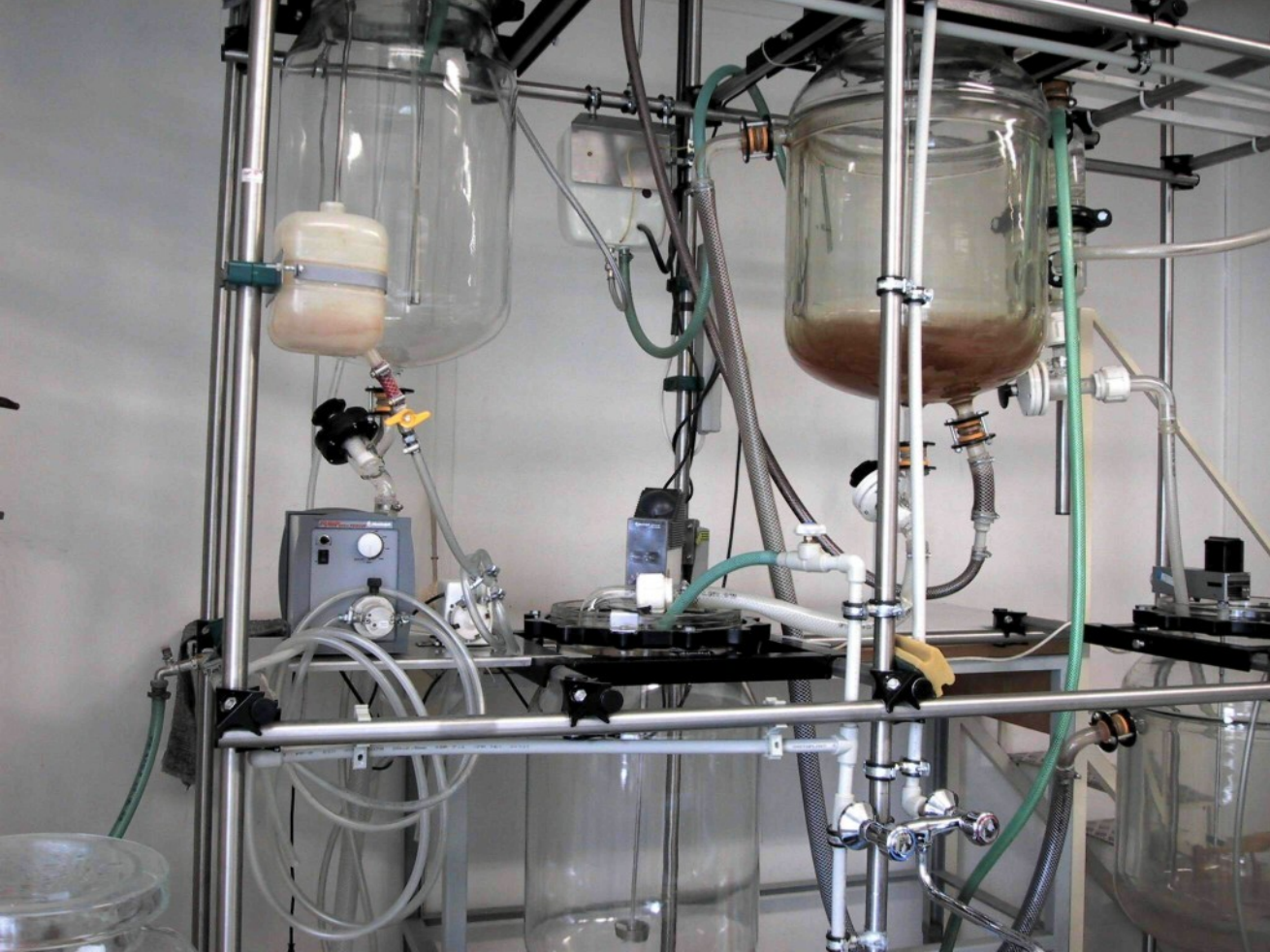


















 **Flottweg**





