Kvasný průmysl
roč. 4 (1958) číslo 9

Statistický způsob cejchování nádrží pro uskladnění lihu a lihových výrobků

K. K. PONOMAREV,
Všesvazový ústav potravinářského průmyslu Moskva

621.798.1.089.6

Technický stav otázky

Stojaté válcové nádrže, montované až na zděných základech buď z jednotlivých tabulí plechu nebo z rozvinutých plášťů*), mají nevyhnutelné odchylky od správného geometrického tvaru.

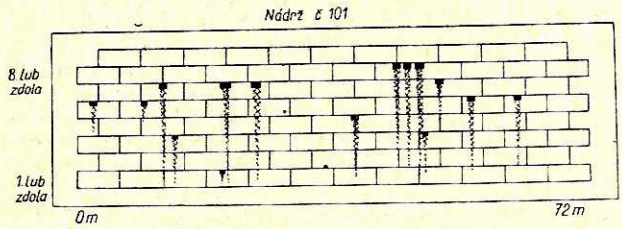
Porušení geometrického tvaru, hlavně při montáži, má vliv na proměření obsahu nádrže, tj. na přesnost zjišťování množství skladovaného kapalného výrobku; někdy má též vliv na pevnost a stabilitu nádrže.

Převážná většina nádrží dobře vyhovujících v provozu má odchylky, které převyšují přípustnou normu dvakráte, třikráte i vícekráte.

Z provozního hlediska je větší odchylka nežádoucí, ježto nádrže lze pak používat jako odměrné jen s velkými obtížemi. Ale při dnešní úrovni stavebně-montážní techniky nelze postavit nádrž správného geometrického tvaru, která by zcela souhlasila s rozměry podle konstrukčního návrhu.

I kdyby se podařilo vyrobit ideálně správnou nádrž za zvýšené náklady, nebyl by zcela splněn základní požadavek provozu, tj. dodání teoreticky přesné odměrné nádrže, ježto nádrž představuje sama o sobě velký, stále se deformující plášť. Je zřejmé, že se bude podle stupně deformace pláště stále měnit i výsledek cejchování nádrže.

O ustavičných změnách objemu nádrže svědčí také to, že se na plášti vytvářejí četné vyboulenины (netěsná místa) (*obr. 1.*).



Obr. 1 – Schema rozmístění vyboulenin na rozvinutém plášti nádrže objemu 4600 m³.

Kontrola kvalitativních defektů pláště nádrží s různými obsahy, kterou provedl autor článku, ukázala, že při naplnění lihem a lihovými výrobky mělo 63 % kontrolovaných nádrží 5 i více velkých vyboulenin s netěsnými švy. Zbývající procenta kontrolovaných nádrží (37 %) měla od jedné až do 4 vyboulenin. Na 16 pláštích kontrolovaných nádrží bylo zjištěno 119 vyboulenin s netěsnými místy, tj. průměrně 7 až 8 netěsných míst na jednu nádrž.

Přehled o vzniku netěsných míst v závislosti na výšce nádrže je v *tab. I.*

Pořadové číslo lubu zdola nádrže	Počet vzniklých netěsných míst	
	absolutní	v procentech
8	19	16,0
7	22	18,5
6	17	14,3
5	21	17,7
4	14	11,7
3	17	14,3
2	4	3,3
1	5	4,2
úhrnem	119	100,0

Tabulka I

Na čtyřech nejvyšších lubech jsou přibližně dvě třetiny všech vzniklých vyboulenin. Nejvyšší počet netěsných míst je na lubu č. 7 od spodu, což souhlasí s maximální hodnotou odchylky od svislé polohy a maximální hodnotou sesednutí základu; z celkového počtu nádrží kontrolovaných na vyboulenины, má 55 % nerovnoměrné sesednutí nádrže vyšší než 100 mm. To vede k závěru potvrzenému rozsáhlou praxí: výsledné hodnoty cejchování nádrže určené pro skladování lihu a lihových výrobků nejsou konstantní, ale časem se mění.

Z uvedeného vyplývá účelnost statistického způsobu periodického zjišťování skutečného obsahu nádrže; tento způsob je proti dosavadnímu cejchování téměř přesný a velmi hospodárný.

Ekonomický problém stupně zmenšení hodnoty úchylky

Ve výrobních poměrech lze téměř vždy dosáhnout vyšší přesnosti, než s kterou se setkáváme.

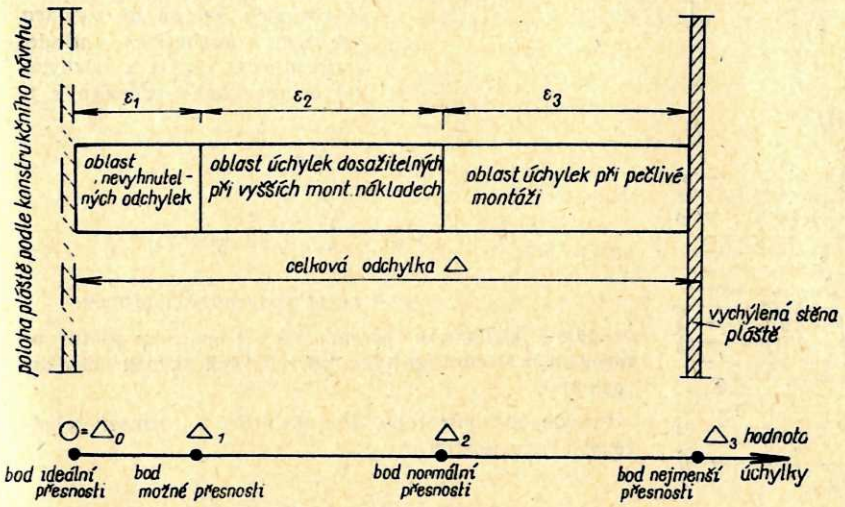
Ekonomie však omezuje snahu po zvýšení přesnosti a vyvolává otázku nejvýhodnějšího řešení. V podmínkách provozních montáží se dosahuje normálního stupně přesnosti s úchylkou $\triangle_2$ (*obr. 2*).

Kolísání tohoto stupně přesnosti není v jistých mezích spojeno se zdražením nebo zlevněním montážních prací, ale je pouze otázkou vyspělosti práce v určitém provozu. Hodnota úhrnné odchylky $\triangle$ může být zmenšena z hodnoty $\triangle_3$ na hodnotu $\triangle_2$, jestliže kvalifikovaná montážní četa použije správných technologických předpisů a prosadí-li progresivní způsoby práce při zachování vysoké technologické úrovně montáže nádrže. Meze $\triangle_2$ a $\triangle_3$ udávají normální provozní možnosti; další zvýšení stupně přesnosti zdražuje práci zkomplikováním a otázka se dostává tím více do oblasti ekonomie.

Další snížení hodnoty úchylky $\triangle_2$ na ještě dosažitelnou (na této úrovni je totiž dnešní montážní technika) hodnotu $\triangle_1$ je možné jen za současného značného zvýšení nákladů na montáž nádrže.

*) Poznámka překladatele: V SSSR se montují pláště stojatých válcových nádrží dvojím způsobem:

1. Z jednotlivých tabulí plechu: na montážním stole nebo na základě nádrže se vyrobí vždy jeden lub z jednotlivých plechových tabulí postavených kolmo na základ a patřičně vykroužených do tvaru segmentu celého obvodu pláště. Po dokončení prvého lubu zhora se celý lub zvedne na celém obvodu a začne se se sestavováním a připojováním dalšího lubu. Tak se pokračuje až do dokončení celého pláště.
2. Na ležato vcelku; u nádrží s obsahem 1000 až 5000 m³ (průměr do 22,0 m a výška do 12,0 m) se sestavují celé rozvinuté pláště ve vodorovné rovině z jednotlivých tabulí, jichž šířka se rovná výšce nádrže a délka obvodu válce.
Při dopravě drahou se pláště svinují do svitků (jako koberce) průměru asi 2,8 m.
(Viz Spravočnik mašinostroitelja – sv. 5 str. 246/247; 2. vydání z r. 1955.)



Obr. 2 — Provozně ekonomické činitele při znázornění úchylek Δ

Hodnotu úchylky Δ_1 nelze snížit až na nulu, ježto se i při práci podle nejdokonalejších způsobů montáže i při maximálních výrobních nákladech uplatňují nevyhnutelně fysikální činitelé (smršťování svárů, montážní chyby apod.), kteří tvoří nevyhnutelnou odchylku. S dalším rozvojem montážní techniky bude se interval ($\Delta_1 - \Delta_0$) stále více zmenšovat, ale nikdy zcela nezanikne.

Statistický způsob cejchování stojatých válcových nádrží

Následkem toho, že se nelze vyhnout určitým vyboulením, nesouhlasí nikdy skutečný obsah nádrže s nominální hodnotou, s níž se může shodovat pouze nahodile.

Plocha mezi nárysem obrysové stupňovité čáry pláště (nebo svislou povrchovou přímkou u nádrží zhotovených rozvinutím svitku pláště) a střední povrchovou přímkou znázorňuje plochu řezu vedeného osou dutého rotačního tělesa; hmota stěn tohoto rotačního tělesa znázorňuje rozdíl geometrického objemu nádrže proti skutečnému objemu; v uvažovaném případě (*obr. 3c*) značí tato plocha ztrátu objemu, poněvadž převládají odchylky směrem do středu nádrže (*obr. 4*). Podle přibližného výpočtu pro přeměřované nádrže činí ztráta objemu průměrně kolem 20 m³.

Přestože byl zjištěn takový nesouhlas obsahu nádrží určených stávajícími způsoby přeměřování se skutečným obsahem, sestavují se v závodech cejchovní tabulky se zbytečnou, ve skutečnosti nedostižnou přesností až na 1 l uskladněného výrobku**).

Takové přesnosti nelze dosáhnout zvýšenou přesností montáže nádrže, nýbrž pouze náhodnou shodou obsahu změněného provozem s jeho theoretickým obsahem podle konstrukčního výkresu.

Vyboulenina, která má hlavní vliv na změnu geometrického tvaru pláště nádrže, a tudíž i na změnu jeho obsahu, není jedinou příčinou nesouhlasu skutečného objemu s normálním.

Stále se měnící hydraulický tlak výrobku, nerovnoměrná sesednutí základu, během času se měnící teplotní podmínky při skladování zboží, poměrně velká konstruktivní poddajnost poměrně slabého ocelového pláště nádrže, fysikální vlastnosti uskladněných výrobků a řada jiných, méně důležitých činitelů má periodicky se měnící vliv na ustavičné změny geometrického tvaru nádrže.

Z toho je zřejmé, že cejchování objemu tím způsobem, že se pořídí stálá stupnice s centimetrovým dělením, při čemž se současně použije opravných vzorců, které zahrnují korekce závislé na vlivu řady činitelů, nemůže podávat úplný obraz o vlivu celého souhrnu činitelů působících na změnu objemu.

Jako předpis pro cejchování stojatých válcových nádrží se doporučuje dále uvedený způsob statistického cejchování jako jediný, který podává nejúplnější obraz o změnách objemu nádrže.

Tvar pláště nádrže, která má být proměřována (cejchována), se určí proměřením polohy 24 povrchových přímek, z nichž každá je opět určena 17 body, rozloženými rovnoměrně po výšce pláště. Vzdálenosti mezi povrchovými přímkami v půdoryse jsou navzájem stejné. Popsaným způsobem je tedy tvar pláště jedné nádrže určen 408 body. Vzhledem k tomu, že deformace pláště má obyčejně charakter plynulý, stačí uvedený počet bodů zcela přesně určit obliny poněkud deformovaného válcového povrchu. V případě, že jsou na oblině místa s náhlou změnou (vyboulenины), lze zvýšit počet povrchových přímek nebo počet bodů na její výšce podle potřeby.

Skutečný tvar pláště je tedy určen dvěma řadami číselných hodnot (n = 24 — počet povrchových přímek, m = 17 — počet bodů, určujících povrchovou přímku).

Obě řady číselných hodnot, určujících tvar pláště nádrže, lze sestavit do *tab. II.*

body rozložené po výšce h_m \ číslo povrchové přímky n	1	2	3	 23	24
h_1	Δ_{11}	Δ_{12}	Δ_{13}	Δ_{123}	Δ_{124}
h_2	Δ_{21}	Δ_{22}	Δ_{23}	Δ_{223}	Δ_{224}
h_3	Δ_{31}	Δ_{32}	Δ_{33}	Δ_{323}	Δ_{324}
h_4	Δ_{41}	Δ_{42}	Δ_{43}	Δ_{423}	Δ_{424}
. .	.....	.....	.....	.....	.....
. .	.....	.....	.....	.....	.....
h_{17}	Δ_{171}	Δ_{172}	Δ_{173}	Δ_{1723}	Δ_{1724}

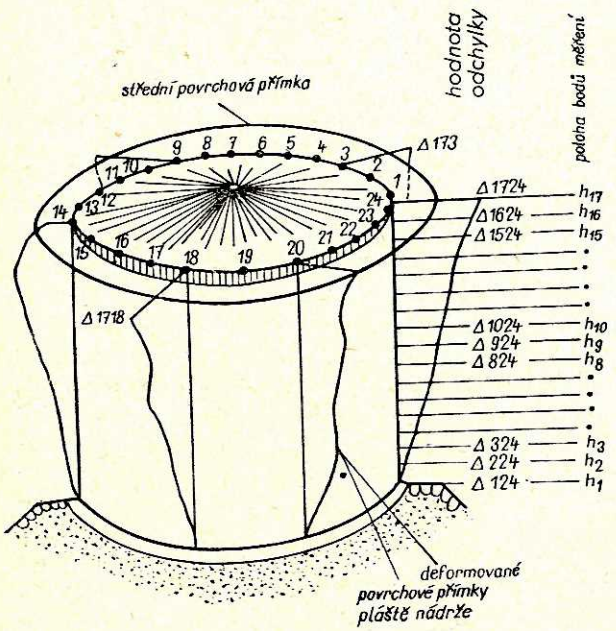
Tabulka II

V tabulce značí Δ_{mn} odchylku od svislice v m-té hladině na n-té svislici.

Fysikálním smyslem hodnot v *tab. II.* je znázornění stavu skutečného porušení obliny pláště stojaté válcové nádrže *(obr. 3a).*

**) Poznámka překladatele: V SSSR jsou nádrže opatřovány stupnicemi s centimetrovým dělením a obsah se odčítá z cejchovních tabulek. Tento způsob má tu výhodu, že při případném zjištění nesprávnosti proměřování stačí pozměnit cejchovní tabulky, není však třeba měnit stupnici, což je nákladné a obtížnější.

Kvasný průmysl
roč. 4 (1958) číslo 9



Obr. 3a

Pro usnadnění vyčíslení hodnot členů obou řad nahradíme obě řadou jedinou, řadou aritmetických průměrů odchylek v jedné hladině zaměření $\overline{\Delta}_m$:

$$\overline{\Delta}_1 = \frac{1}{24}(\Delta_{11} + \Delta_{12} + \ldots\ldots \Delta_{124})$$

$$\overline{\Delta}_2 = \frac{1}{24}(\Delta_{21} + \Delta_{22} + \ldots\ldots \Delta_{224})$$

$$\overline{\Delta}_{17} = \frac{1}{24}(\Delta_{171} + \Delta_{172} + \ldots\ldots \Delta_{1724})$$

pak sestavíme jedinou řadu hodnot $\overline{\Delta}_m$ (*tab. III.*):

výška h	h_1	h_2	h_3	.....	h_{16}	h_{17}
aritm. průměr odchylky	$\overline{\Delta}_1$	$\overline{\Delta}_2$	$\overline{\Delta}_3$	.....	$\overline{\Delta}_{16}$	$\overline{\Delta}_{17}$

Tabulka III

Fysikální smysl uvedené *tabulky III* spočívá v tom, že objemy jednotlivých deformovaných zakřivených částí lubů pláště jsou znázorněny ekvivalentními válcovými prstenci se svislými přímkami (*obr. 3b, 3c*).

Tímto způsobem přechází střední předpokládaná povrchová přímka z křivky v stupňovitou čáru, měnící se po výšce, ale stálou na celém obvodu pláště nádrže (*obr. 3c*).

Střední kvadratická úchylka středních povrchových přímek, udávaných jedinou řadou (*tabulka III*) je rovna

$$\sigma_{\overline{\Delta}_m} = \frac{\sigma_m}{\sqrt{m}};$$

v rovnici značí m — počet stejně přesných měření (zde počet bodů na povrchové přímce),

σ_m — střední chybu jednoho měření na K nádržích, kterou lze vyjádřit výrazem obsahujícím střední kvadratickou chybu z odchylek od aritmetického průměru s_m:

$$\sigma_m^2 = \frac{s^2_m}{n-1};$$

$$s^2_m = \frac{1}{n}\sum_1^n (\Delta_{mn} - \overline{\Delta}_m)$$

n — počet povrchových přímek.

Podle Ljapukovova teoremu má při značném počtu pozorování n střední odchylka povrchových přímek normální rozložení.

Pravděpodobnost toho, že bude ležet v rozmezí vyjádřených nerovnostmi

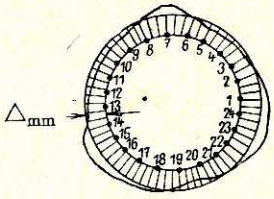
$$\overline{\Delta}_m - \delta < \tilde{\Delta}_m < \overline{\Delta}_m + \delta$$

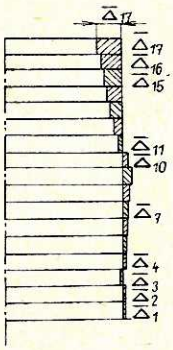
lze vyjádřit těmito vztahy:

$$P\left(\overline{\Delta}_m - \delta < \tilde{\Delta}_m < \overline{\Delta}_m + \delta\right) = \int_{-\delta}^{\delta} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_{\overline{\Delta}_m}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt =$$

$$= \Phi\left(\frac{\delta}{\sigma_{\overline{\Delta}_m}}\right)$$

Je-li dána pravděpodobnost P, lze určit hodnotu odchylky δ_m aritmetických průměrů $\overline{\Delta}_m$ od generálních $\tilde{\Delta}_m$.





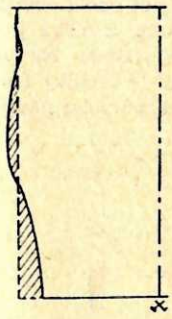
Obr. 3b

Vzhledem k tomu, že povrchová přímka určená z aritmet. průměru (střední) je určena jedinou řadou (*tab. III*), možno s pravděpodobností tvrdit, že generální střední povrchová přímka (tj. průměrná z obou řad) leží v rozmezí, které lze znázornit touto řadou:

h_m	h_1	h_2	h_3	..... h_{16}	h_{17}
$\overline{\Delta}_m \pm \delta_m$	$\overline{\Delta}_1 \pm \delta_1$	$\overline{\Delta}_2 \pm \delta_2$	$\overline{\Delta}_3 \pm \delta_3$	$\overline{\Delta}_{16} \pm \delta_{16}$	$\overline{\Delta}_{17} \pm \delta_{17}$

Tabulka IV

Spojením středů povrchových přímek jednotlivých částí lubů (prstenců) dostáváme matematickou křivku rozložení úchylek po výšce, která je střední generální povrchovou přímkou pro danou nádrž; znázorňuje nejpřesněji skutečný objem (*obr. 3d*) a kolem ní jsou rozloženy všechny skutečné povrchové přímky.



Obr. 3c

Vyloženého způsobu určení skutečného objemu nádrže lze použít pro praktické sestavení cejchovních tabulek.

Jestliže je povrchová přímka určena 17 body po výšce, značí to rozdělení nádrže na 16 vodorovných válcových prstenců s výškou rovnou poloviční výšce lubu. Pro sestavení cejchovních tabulek lze počet vodorovných prstenců zcela svobodně zvýšit, což nepůsobí žádné zásadní obtíže i při zaměřování odchylek povrchových přímek nádrže ze žebříku olovnicí. Je-li objem nádrže rozdělen po výšce skutečně přesně, nepůsobí pořízení cejchované centimetrové stupnice potíže a má teprve správný význam. V případě, že nádrž je uvnitř vyztužena (např. výztužnými kroužky, rozličnými táhly a výztužnými pláty), je třeba vypočítat objem výztužných částí předem; při sestavování cejchovních tabulek a sestrojování stupnic dělených po centimetrech je nutno objem výztuh v příslušných intervalech podle jejich polohy odčítat. Objemy výztuh se odčítají od určené střední generální povrchové přímky *(obr. 3d)*.

Vysvětlený způsob cejchování nádrží přihlíží ve srovnání se stávajícími způsoby dokonale k osobitým vlastnostem každé nádrže pro uskladnění lihu a jiných kapalin.

Následkem ustavičné změny geometrického tvaru stojatých válcových nádrží musí býti cejchovní tabulky periodicky přepracovávány v závislosti na provozních podmínkách při zaměřování povrchových přímek; to nepůsobí větších obtíží a může býti prováděno inženýrsko-technickými zaměstnanci lihovarů.

Vyměřování počátečních bodů deformace nádrže a používané přístroje

Počáteční body pro měření úchylek nádrže od ideálního pravidelného geometrického tvaru lze vyměřovati dvojím způsobem: ručně nebo mechanicky. Ruční způsob je nejjednodušší, avšak ne méně přesný a použitelný za jakýchkoliv podmínek. Uvedeme jednotlivé úkony, z nichž pozůstává ruční měření. S víka nádrže se spustí nejprve olovnice z tenké rybářské šňůry a ocelovým pravítkem se odměřuje ze žebříku vzdálenost mezi povrchem pláště nádrže a olovnicí *(obr. 4.)*.

Aby se poloha olovnice rychle ustálila a ztlumilo její kývání vyvolané větrem, ponořuje se závaží olovnice do vědra s mazutem nebo jinými vazkými výrobky z nafty.

Vzdálenost mezi povrchem pláště a olovnicí se odměřuje v jednotlivých výškách v rovině proložené středem a horním okrajem každého lubu (tj. spodním okrajem nejblíže vyššího lubu, jak označeno v dalších tabulkách — pozn. překl.) s přesností na 1 mm.

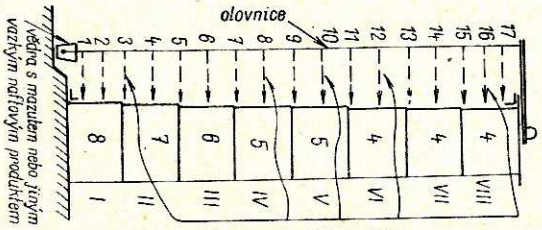
Dřevěný žebřík je třeba pevně přivázat provazy ke střednímu průlezu na víku nádrže a přidržovat dvěma pomocníky, kteří jsou též na víku nádrže, a dole jedním nebo dvěma pomocníky; ti jej pak přenášejí a přidržují při vyměřování. Vyměřuje pátá osoba, při čemž nutno

Způsob vedení prvních zápisů o výsledcích měření nádrže č. 21; výška hladiny kapaliny 10,30 m

Lub čís.	Rovina měření	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
		odměřeno	odchylka	odměřeno	odchylka	odměřeno	odchylka	odměřeno	odchylka	odměřeno	odchylka	odměřeno	odchylka	odměřeno	odchylka	odměřeno	odchylka	odměřeno	odchylka	odměřeno	odchylka	odměřeno	odchylka	odměřeno	odchylka
8	nahoře	365	— 27	512	171	362	23	254	— 7	130	5	280	45	422	92	303	41	298	48	220	51	280	48	333	62
	střed	379	— 13	525	184	356	17	233	— 28	150	25	281	46	435	105	296	34	292	42	222	53	290	58	329	58
	dole	403	11	520	179	375	36	270	9	172	47	285	50	425	95	312	50	315	65	242	73	319	87	359	88
7	střed	388	— 4	525	184	359	20	240	— 21	159	34	269	34	408	78	303	41	290	40	218	49	309	77	335	64
	dole	422	30	520	179	368	29	248	— 13	182	57	289	54	403	73	318	56	298	48	211	42	330	98	341	69
6	střed	399	7	500	159	372	33	254	— 7	170	45	263	28	375	45	288	26	279	29	202	33	329	97	350	79
	dole	403	11	496	155	376	37	269	8	189	64	280	45	374	44	330	48	295	45	223	54	279	47	340	70
5	střed	392	0	471	130	355	16	250	— 11	165	40	256	21	360	30	290	28	277	27	212	43	274	42	322	51
	dole	402	10	459	118	363	24	255	— 6	179	54	265	30	367	37	267	5	280	30	225	56	285	53	330	59
4	střed	393	1	445	104	354	15	230	— 31	159	34	249	14	365	35	306	44	285	35	200	31	270	38	325	54
	dole	416	24	443	102	365	26	240	— 21	175	50	273	38	364	34	318	56	291	41	210	41	286	54	331	60
3	střed	395	3	423	82	356	17	245	— 16	160	35	249	14	346	16	296	34	269	19	205	36	280	48	320	49
	dole	383	— 9	422	81	392	53	249	— 12	170	45	245	10	355	25	292	30	265	15	195	26	279	47	336	65
2	střed	385	— 7	395	54	381	42	242	— 19	150	25	260	25	344	14	260	— 2	260	10	173	4	255	23	309	38
	dole	399	7	399	58	361	22	260	— 1	157	32	259	24	350	20	270	8	251	1	182	13	244	12	306	35
1	střed	393	1	363	22	342	3	255	— 6	113	— 12	260	25	325	— 5	260	— 2	242	— 8	170	1	226	— 6	273	2
	dole	392	0	341	0	339	0	261	0	125	0	235	0	330	0	262	0	250	0	169	0	232	0	271	0
vzdálenosti v m		10,50		5,50		6,50		4,15		11,00		7,70		14,00		6,15		1,70		2,20		1,70		1,30	10,50

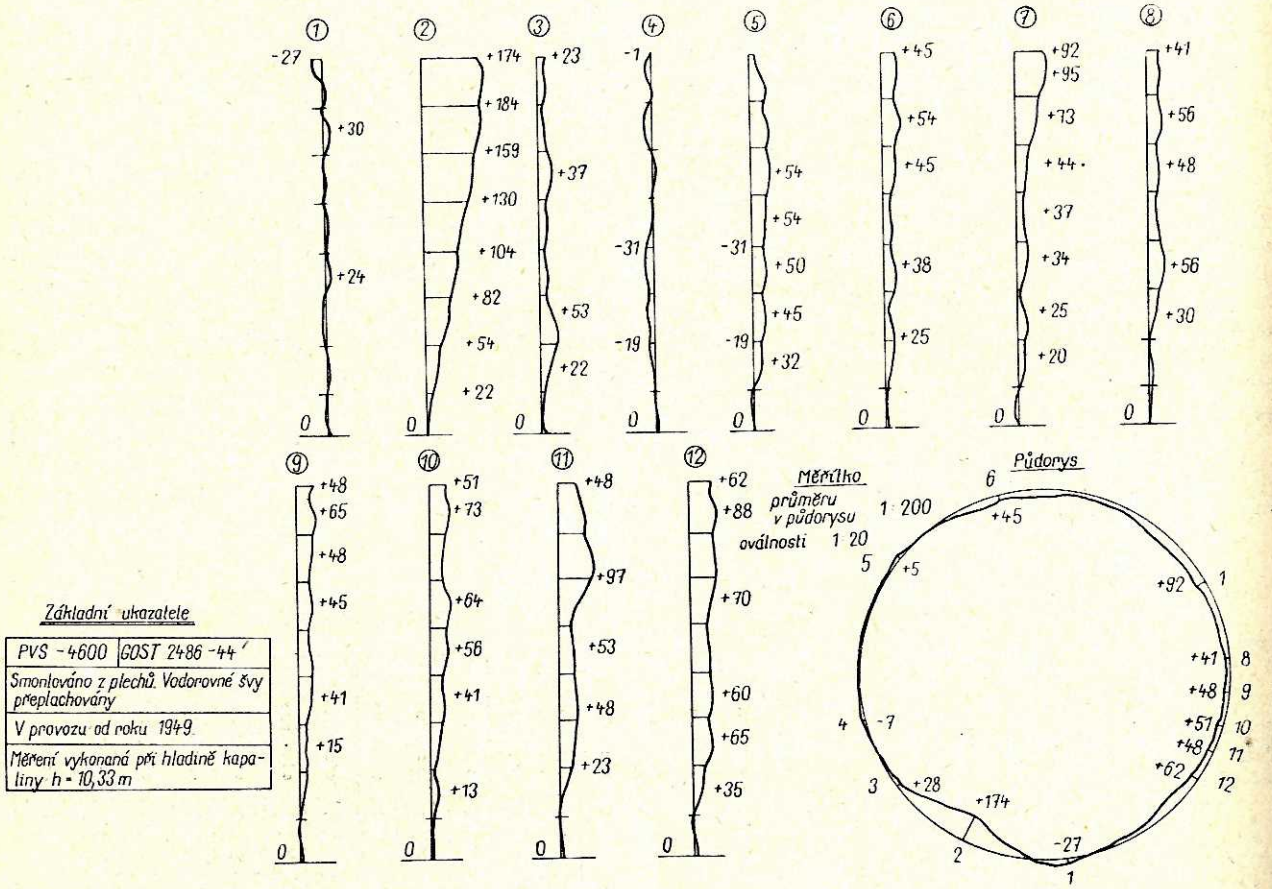
Vzdálenost se rozumí mezi svislicemi pro vyměřování, měřeno po obvodě nádrže.

Tabulka V.



Obr. 4

zachovávat předpisy o osobní bezpečnosti. Žebřík přenášejí (obvykle vysoký 10 až 12 m a 100 až 120 kg těžký) 4 lidé podél obvodu měřené nádrže. Pro zvedání pomocníka, který vyměřuje, lze použít visutého lešení. To značně snižuje počet členů vyměřovací čety, avšak nezvyšuje znatelněji úspory času a neusnadňuje vyměřování. Toto lešení není třeba budovat na pevno, i když při větší výšce nádrže musí být pro měření zajištěno proti kývání; výhodná je jeho lehkost a možnost snadného přenášení. Pro počáteční svislici je třeba volit buď bod na potrubí pro uskladněný materiál nebo na průlezu a při měření postupovat podél obvodu nádrže ve směru hodinových ručiček. Body, z nichž jsou svislice spouštěny, nutno označit nesmytelnou barvou. Doporučuje se zapisovat výsledky měření do tabulky (*tab. V*) a podle nich sestrojit diagram úchylek povrchu nádrže od svislice (*obr. 5*).



Obr. 5 – Vyměřování odchylek povrchových přímek plášťů od svislice

Vyměřování lze též zautomatisovat. Mechanisace vyměřování s použitím profilografu jest velmi lákavá, ale dosud není dostatečně propracována. Autor použil poprve v r. 1954 svislého profilografu (*obr. 6*) při vyměřování geometrického tvaru; byl navržen podle výpočtů a nákresů nivelačních automatů podle konstrukce *prof. Leontovského, inž. Artamonova a Pisanka.* Kinematické schema profilografu je na *obr. 7.*

Přístroj zapisuje na papírovém pásu profil svislého povrchu v měřítku pro délku zdvihu automatu 1 : 50, pro odchylky od svislice 1 : 5. Největší odchylka, kterou může přístroj zaznamenávat, je 450 mm.

Popíšeme princip činnosti přístroje (Pozn. překl. Popis se týká nivelačního profilografu tj. pojíždějícího po vodorovné rovině a určeného pro měření výškové svislé odchylky).

Dva kotouče *1* a *2* (*obr. 7*) mají osy vzájemně kolmé a uložené v téže vodorovné rovině. Zabírají vzájemně působením tření. Při konstantní rychlosti otáčení hnacího kotouče *1* se bude hnaný kotouč *2* otáčet rychlostí úměrnou poloměru záběru na hnacím kotouči.

Hnaný kotouč se otáčí vpravo nebo vlevo podle toho, na které straně zabírá s hnacím kotoučem od jeho středu.

Bude-li se hnací kotouč otáčet úměrně měřené vzdálenosti L a hnaný kotouč posunovati po své ose automaticky podle úhlu sklonu povrchu úměrně k sinu úhlu sklonu, bude hnaný kotouč přenášet svůj otáčivý pohyb na zapisovací mechanismus, a tím zaznamenávat odchylky (vyvýšeniny) h při daném úhlu sklonu povrchu k svislici α a délce L podle vztahu:

$$h = L \sin \alpha.$$

Toho se dosáhne dále popsaným způsobem. Otáčení kotouče *1*, úměrné proběhnuté dráze *L*, je přenášeno z hnacího kola *3* přes ozubené soukolí *4* a *5*. Automatického osového posuvu hnaného kotouče, závislého na úhlu sklonu povrchu, se dosahuje kloubovým výkyvným závažím *6*. Páka výkyvného závaží *7* má unášecí vidlici, uloženou v drážce náboje hnaného kotouče. Při odklonu osy kola od původní vodorovné roviny o úhel α, páka *7* posune působením váhy výkyvného závaží kotouč *2* podél osy o hodnotu

$$L_7 \sin \alpha,$$

kde L_7 značí délku páky 7.

Odchylky pláště nádrže č. 21 od správného geometrického tvaru. Hladina kapaliny ve výši 10,30 m

Lub nádrže čís.	Rovina měření	Číslo svislice 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Odchylka od svislice, která se dotýká spodní hrany prvého lubu v mm											
8	nahoře	— 27	171	23	— 7	5	45	92	41	48	51	48	62
	střed	— 13	184	17	— 28	25	46	105	34	42	53	58	58
	dole	11	179	36	9	47	50	95	50	65	73	87	88
7	střed	— 4	184	20	— 21	34	34	78	41	40	49	77	64
	dole	30	179	29	— 13	57	54	73	56	48	42	98	69
6	střed	7	159	33	— 7	45	28	45	26	29	33	97	79
	dole	11	155	37	8	64	45	44	48	45	54	47	70
5	střed	0	130	16	— 11	40	21	30	28	27	43	42	51
	dole	10	118	24	— 6	54	30	37	5	30	56	53	59
4	střed	1	104	15	— 31	34	14	35	44	35	31	38	54
	dole	24	102	26	— 21	50	38	34	56	41	41	54	60
3	střed	3	82	17	— 16	35	14	16	34	19	36	48	49
	dole	— 9	81	53	— 12	45	10	25	30	15	26	47	65
2	střed	— 7	54	42	— 19	25	25	14	— 2	10	4	23	38
	dole	7	58	22	— 1	32	24	20	8	1	13	12	35
1	střed	1	22	3	— 6	— 12	25	— 5	— 2	— 8	1	— 6	2
	dole	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vzdálenosti v m		10,5	5,50	6,50	4,15	11,00	7,70	14,00	6,15	1,70	2,20	1,70	1,30	10,50

Pozn. překl.: Vysvětlení pojmu „vzdálenost" viz. tab. V.

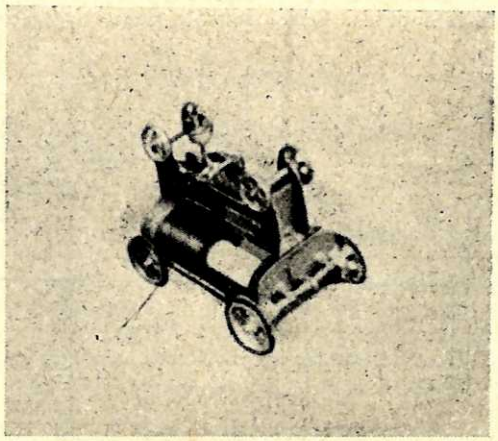
Tabulka VI.

Aby přístroj zapisoval profil dráhy automaticky, nutno přenášet postupný pohyb z hnaného kotouče *2* na pisátko *8*. Přenos obstarává závit na ose *9* a matice na ústrojí pisátka.

Od pojížděcího odměrného kola *3* se přenáší otáčivý pohyb přes šroub a šroubové kolo *10* na buben *11*, který převádí postupný pohyb na papírový pás úměrně projeté dráze.

Přístroj může zapisovat odklon ve vodorovné rovině při nepatrné změně konstrukce výkyvného závaží.

Zcela jednoduchým a vhodným jeho přizpůsobením pro vyměřování geometrického tvaru stojatých nádrží je automat *inž. Lokšina*, popsaný v časopise „Neftjanoe chozjajstvo" z r. 1954.



Obr. 6 – Profilograf.

Číselný příklad cejchování lihové nádrže

Úkolem je sestavit cejchovní tabulku pro válcovou stojatou nádrž RVS 5000 pro skladování lihu.
Technická data nádrže známá:

vnitřní průměr D_i = 23,00 m, výška jednotlivého lubu 1,5 m.

Tloušťka 8 lubů nádrže rovna (zdola nahoru) 10,8 6,6, 5, 5,5, 5 mm.

Plášť nádrže RVS 5000 č. 21 se vyměřuje na obvodě na 12 svislicích v 17 výškových rovinách.

Odchylky od svislé teleskopické povrchové přímky jsou uvedeny v *tabulce VI*. Označení minus platí pro odchylku směrem od středu pláště, plus ke středu pláště. V našem případě je $n = 12$, $m = 17$. Hodnotám *tab. VI*, odpovídají hodnoty v *tab. II*. Roviny měření v různých výškách v *tab. VI* (horní okraj, střed, spodní okraj 8. lubu; střed spodní okraj 7. lubu atd.) odpovídají vzdálenostem bodu ve výšce $h_1, h_2, h_3, h_4 \ldots . h_{17}$ (*tab. II*). Určíme střední ukazatele každého kroužku. Např. pro kroužek v rovině horního okraje 8. lubu h_{17} = 12,00 m) je střední ukazatel

$$\overline{\triangle}_{17} = \frac{1}{12}(-27 + 171 + 23 - 7 + 5 + 45 + 92 + 41 + 48 + 51 + 48 + 62) = \frac{1}{12} \cdot 552 = 46 \text{ mm}$$

Analogicky podle hodnot odpovídajících řádkům v *tab. VI.* se vypočte i další střední ukazatel od $\triangle_{16}$ do $\triangle_1$. Násobitele $^1/_{12}$ zde bylo použito proto, že nádrž je vyměřována na 12 svislicích (stanovištích), index 17 odpovídá 17. výšce roviny měření (17. kroužku).

Dále zapíšeme střední odchylky *(tab. III.)* ve tvaru *tabulky VII.*

Výška měřicí roviny h_m v m	Střední odchylka $\triangle_m$ v mm	Výška měřicí roviny h_m v m	Střední odchylka $\triangle_m$ v mm
12,00	46,00	5,25	31,17
11,25	48,41	4,50	42,08
10,50	65,83	3,75	28,08
9,75	49,66	3,00	31,33
9,00	60,17	2,25	17,25
8,25	47,84	1,50	19,25
7,50	52,33	0,75	1,25
6,75	34,75	0,00	0,00
6,00	39,17		

Tabulka VII

S uvedenými hodnotami je deformovaná nádrž převedena na mnohostranný hranol s lomenými hranami (povrchovými přímkami).

Sestavíme cejchovní tabulku pro 2 luby nádrže tj. do výšky 3,00 m. Sestavení cejchovní tabulky pro celou nádrž je již jen analogickým pochodem.

Střední ukazatele v příslušných rovinách rozdělují plášť nádrže na 16 kroužků (jeden lub se dělí na 2 kroužky). Výška kroužku 0,75 m. V rozmezí 2 prvých lubů budou 4 kroužky. Pro sestavení stupnice s centimetrovým dělením se rozdělí výška prvého kroužku na 75 vodorovných pásů o výšce 1 cm. Ježto úchylka $\overline{\triangle}_2$ je větší o 1,25 mm než odchylka $\overline{\triangle}_1 = 0$, bude se při určování poloměru každého centimetrového pásu připočítávat k $R_i = 11{,}50$ (R_i značí vnitřní průměr — pozn. překl.) oprava

$$\frac{1{,}25}{75} = 0{,}016\,6 \text{ mm.}$$

Pro druhý kroužek bude oprava rovna

$$\frac{19{,}25 - 1{,}25}{75} = 0{,}240 \text{ mm,}$$

pro třetí kroužek

$$\frac{17{,}25 - 19{,}25}{75} = 0{,}026\,6 \text{ mm,}$$

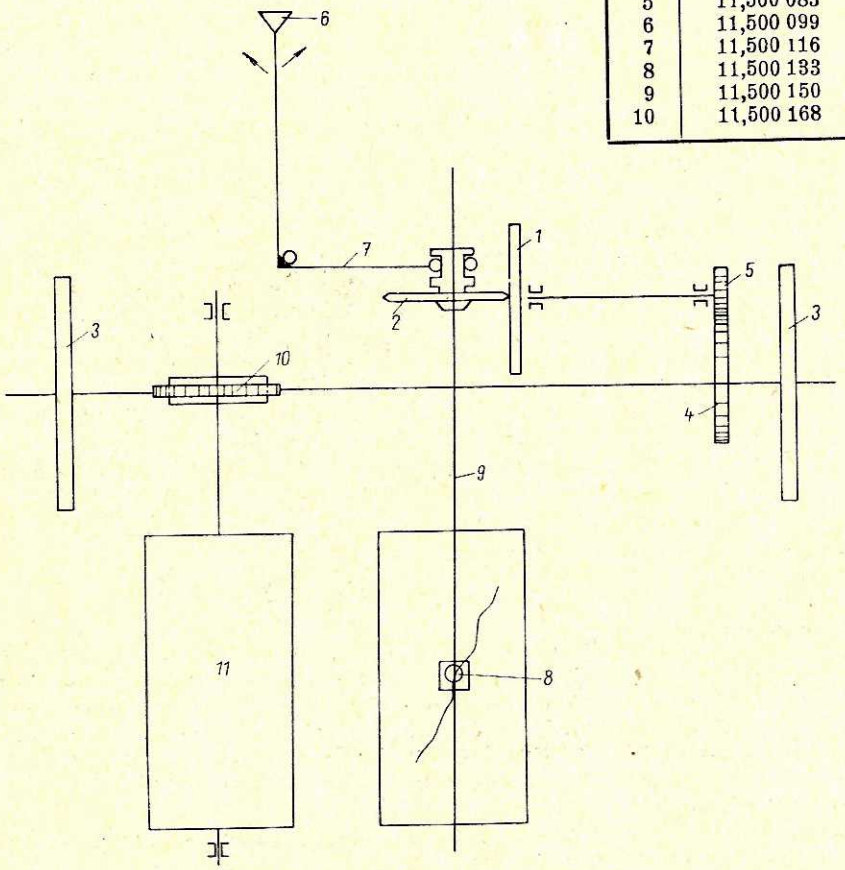
pro čtvrtý kroužek

$$\frac{31{,}33 - 17{,}25}{75} = 0{,}188 \text{ mm.}$$

Cejchovní tabulku sestavíme do obvyklého tvaru:

Výška hladiny lihu h v cm	Skutečný vnitřní poloměr R_1 v m	Střední výpočtový poloměr $R_{stř} = \frac{R_{m-1} + R_m}{2}$	Cejchovaný objem nádrže $V = \pi R^2_{stř} \cdot h$ v m³
0	11,500 000		0,000 000
1	11,500 017	1 150,000 85	4,154 756
2	11,500 033	1 150,002 50	8,309 529
3	11,500 050	1 150,004 15	12,464 315
4	11,500 066	1 150,005 80	16,619 113
5	11,500 083	1 150,007 45	20,773 923
6	11,500 099	1 150,009 10	24,928 744
7	11,500 116	1 150,010 25	29,083 573
8	11,500 133	1 150,012 45	33,238 411
9	11,500 150	1 150,014 40	37,393 270
10	11,500 168	1 150,015 00	41,548 140

Tabulka VIII



Obr. 7 — Kinematické schema profilografu.

Analogicky vypočteme cejchovní tabulku až do výšky 3 m. Abychom uspořili místo, neuvádíme celý výpočet.

Cejchovaný objem nádrže vypočteme ze vzorce pro válec:

$$V = \pi R^2_{stř} \cdot h .$$

V rovnici jsou Rstř a výška náplně (h) proměnné veličiny v cm. Výsledek výpočtu v cm³ dělíme 10^6 a dostáváme objem v m³. Pro druhý lub (3. a 4. kroužek) s vnitřním poloměrem R_i je třeba odečíst tloušťku stěny druhého lubu 8 mm a přičíst opravu za deformaci $\overline{\triangle}$.

Tak pro cejchování 2. lubu dostáváme:

$$R_{II\,lubu} = R_i - 0{,}008 + \overline{\triangle} =$$
$$= 11{,}5 - 0{,}008 + \overline{\triangle} =$$
$$= 11{,}492 + \overline{\triangle} \text{ v m}$$

Přednosti statistického způsobu cejchování

Vysvětlený statistický způsob cejchování je progresivnější proti stávajícím způsobům, a to jednak vyměřováním objemu, jednak zavedenému způsobu vyměřování válcové části nádrže za sucha spojeným s určováním objemu nejspodnější části nálevem. Hlavním nedostatkem obou těchto způsobů je, že nepočítají se stálou změnou objemu. Způsob vyměřování objemu vychází z ideálního válcového tvaru nádrže a ze vzorců (nehledíc k jejich přesnosti a vhodnosti), které uvažují pouze některé činitele ovlivňující cejchování. Je to zcela statický, zastaralý způsob. U druhého způsobu cejchování, a to vyměřování válcové části za sucha a nálevem jeho nejspodnější části, se uvedený základní nedostatek neodstranil, poněvadž se zavedený prvý způsob zdá dokonalejším z hlediska nauky o měření, ale ne z hlediska stále se měnícího napjatého stavu pláště nádrže. Při tom se druhý způsob lépe hodí pro nádrže s konickým dnem. U válcových nádrží se jeho výhody snižují.

Vysvětlený způsob, spočívající na zákonech statistické matematiky pro hromadné jevy, započítává všechny činitele, kteří působí na nádrž a kromě toho periodické přeměřování (např. jednou za 3 měsíce) geometrického tvaru umožňuje i systematicky opravovat výsledek cejchování s časem. Krátce řečeno, podstatným faktorem pro vysvětlený způsob je, že vzhledem ke stále se měnícímu geometrickému tvaru válcového lubu vlivem uvedených činitelů se hodí nejlépe způsob, který při započítávání všech vlivů dává možnost měnit cejchovní tabulky objemu podle toho, jak plášť mechanicky pracuje a tudíž i sledovat změny objemu během času.

Vnější geometrický tvar válcové nádrže lze vyměřovat velmi jednoduše tak, že se spustí s víka nádrže olovnice a přikládá v příslušných rovinách ocelové měřítko. Vyměřování provádějí ze žebříku méně kvalifikovaní pracovníci.

Literatura

[1] DLIN A. M.: Matematičeskaja statistika v technike, Moskva 1951.
[2] PONOMAROV K. K.: Otklonenija geometričeskoj formy vertikalnych cilindričeskich rezervuarov" Azerbajdžanskoe naftjanoe chozjajstvo, Baku 1956.
[3] PONOMAROV K. K.: Deformacii cilindričeskich oboloček Moskva 1958, Izdanie VZSPP.