

Předmluva

Vám všem, kterým se dostane tato knížka do rukou, chci úvodem říci několik slov:

K přepracování prvního vydání knížky „Průmyslová vážicí technika“ jsem přistoupil ze dvou hlavních důvodů:

Od prvního vydání této publikace před pěti lety se podstatně rozšířilo využití výkonných počítačů s moderní elektronikou pro automatizaci vážicích procesů, což se projevuje ve všech oblastech průmyslového vážení.

Mateřská firma SCHENCK PROCESS přichází v posledních letech na trh s novými typy vah a vážicích systémů, z nichž většina svým výkonem a objevnými způsoby řešení umožňuje úspěšné nasazení vah v oblastech, kde to dříve nebylo možné.

Považuji za účelné informovat vás o pokračujícím zvyšování podílu výpočetní a automatizační techniky v průmyslové vážicí technice SCHENCK a o nových metodách kontinuálního vážení.

Ing. Michal Mikulec, CSc.

Současná průmyslová vážicí technika

Průmyslovou vážicí techniku lze dělit podle dvou hlavních kritérií. Prvním kritériem je způsob realizace procesu vážení, druhým pak jeho účel.

Při nejznámějším způsobu vážení se vážený, přesně definovaný a ohraničený objekt nachází po určité době na pevné podložce – tzv. nosiči břemene. Po dosažení klidového stavu, který je charakterizován ustálením údaje o hmotnosti v definovaném časovém intervalu, lze provést odečet hmotnosti. Tento typ vážení, při kterém jsou objekty váženy jednotlivě nebo po částech, je nazýván vážením diskontinuálním.

Proces, při kterém je hmotnost břemene měřena průběžně a udávána ve vztahu k časovému intervalu (např. t/h), je nazýván vážením kontinuálním. Tento způsob vážení je nejčastěji používán ke zjišťování velikostí průtoků syplých hmot.

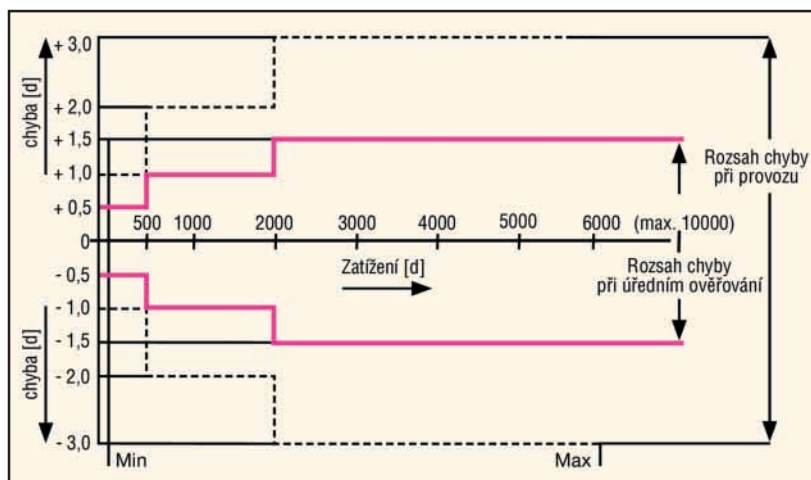
Podle účelu vážení lze až na drobné výjimky rozdělit váhy rovněž do dvou skupin – na váhy technologické a váhy určené pro obchodní styk. Váhy technologické bývají součástí technologických procesů při mísení a míchání směsí, vsázkování do pecí, navažování přísad atd. Váhy pro obchodní účely jsou nedílnou

součástí všech obchodních či kontrolních operací vztahujících se k množstvím definovaným hmotností.

U technologických vah bývá maximální povolená chyba vážení definována relativní chybou vztaženou nejčastěji k vážicímu rozsahu a pohybuje se v rozmezí 0,1% až 5%. Kalibrace technologických vah a kontrola stálosti jejich parametrů jsou výhradně věcí jejich uživatelů a provozovatelů.

U vah používaných v obchodním styku, v ekologii, zdravotnictví a v některých dalších odvětvích si ve většině vyspělých zemí stát vyhrazuje právo dohledu nad jejich metrologickými parametry a používáním. Veškeré právní aspekty výroby a používání těchto měřidel jsou v České republice definovány Zákonem o metrologii. Tyto váhy patří do skupiny měřidel označené jako Stanovená měřidla, která podléhá tzv. legálnímu metrologickému dozoru.

Konstrukce a metrologické parametry nových typů vah zařazených mezi Stanovená měřidla musí být před uvedením na trh prověřeny typovými zkouškami vykonanými příslušnými metrologickými orgány.



Obr. 1

Graf dovolených chyb vyjadřující přípustné odchylky elektromechanické váhy ve třídě přesnosti III

Při uvedení vah do provozu jsou jejich parametry ověřovány při tzv. prvotních ověřeních. Stejná ověřování probíhají pak periodicky v intervalech stanovených příslušnými vyhláškami.

Převážná většina vah používaná v obchodním styku je zařazena mezi váhy s neautomatickou činností, tj. váhy, které vyžadují zásah operátora během vážicího procesu, například během naložení nebo odstranění měřeného břemene s nosiče a také za účelem získání výsledku vážení. Metrologické požadavky kladené na statické váhy s neautomatickou činností schopné ověření jsou shrnuty v evropské normě EN 45 501 s názvem Metrologické aspekty vah s neautomatickou činností, která byla zpracována společnou skupinou CEN (Comité Européen de Normalisation – Evropská komise pro normalizaci) a CENELEC (Comité Européen de Normalisation Électro-

technique – Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice). Tato norma vychází z doporučení OIML R 76–1 z roku 1992 s názvem Váhy s neautomatickou činností.

Váhy jsou podle této normy rozděleny do čtyř tříd přesnosti na váhy jemné, přesné, běžné a hrubé. Váhy s neautomatickou činností používané v obchodním styku musí splňovat požadavky třídy přesnosti běžných vah (podle Doporučení OIML R 76 – 1 označované též OIML III). Maximální dovolené chyby této třídy vah jsou definovány diagramem na **obr. 1**. Měřítkem na vodorovné ose je zatížení váhy v počtu dílků, na svislé pak maximální povolená chyba rovněž v počtu dílků. Plná čára definuje maximální přípustné chyby při ověřování, čímž má být garantována maximální přípustná chyba po celou periodu mezi následnými ověřeními (čárkovaná čára).

Firma SCHENCK PROCESS a průmyslová vážicí technika

Firma SCHENCK PROCESS AG sídlící v Darmstadtu je odborným podnikem koncernu SCHENCK vyrábějícím váhy od svého založení v roce 1881, kdy byl poprvé učiněn zásadní krok od řemeslného zhotovování vah k jejich průmyslové výrobě. Inženýrský přístup k vážicí technice s nepřetržitými inovacemi přivedl firmu k rozsáhlému výrobnímu programu bezkonkurenčně širokého sortimentu vah vyznačujících se soustavným využíváním nejnovějších poznatků vědy a techniky.

Desetitisíce průmyslových vah se značkou SCHENCK spolehlivě fungují na všech kontinentech v nejrůznějších odvětvích průmyslu a zemědělství. Potvrzují tak dominantní postavení firmy ve světovém měřítku. V mnoha konstrukčních řešeních vážných systémů a jejich významných částí a v mnoha průkopnických aplikacích vážicí techniky je firma SCHENCK PROCESS se svými dceřinými společnostmi nositelem světového pokroku.

Už v roce 1992 provedla prestižní společnost DQS (Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Qualitätssicherungssystemen GmbH) audit

postupů vývoje, výroby, montáže i služeb zákazníkům v odděleních průmyslové a automatizační techniky u firmy CARL SCHENCK AG v Darmstadtu. V prosinci 1992 byl firmě udělen certifikát o zavedeném systému jakosti podle normy ISO 9001 (EN 29001) – viz **obr. 2**. Tento certifikát (opakovaně aktualizovaný) mimo jiné potvrzuje hodnověrnost deklarovaných dat o hlavních částech vážných systémů a trvalou péči o jejich jakost.

V souvislosti s uznáním zavedeného systému jakosti rozhodl Hessenský cejchovní úřad udělit firmě CARL SCHENCK AG oprávnění ověřovat vážné systémy a snímače zatížení na území Spolkové republiky Německo.

Ani v letech hospodářské recese se nezastavil výzkum a vývoj vážných systémů se značkou SCHENCK. Firma přichází na trh s modernějším a levnějším konstrukčním řešením řady zařízení kontinuální vážicí techniky, s novou metodou vážení železničních vagonů za pohybu. Přichází s moderní a spolehlivou elektronikou a počítačovou technikou s multimediálním programovým vybavením v grafickém prostředí WINDOWS.



Obr. 2 Certifikát o zavedeném systému jakosti

Snímače zatížení

Ve snímačích zatížení je transformována měřená hmotnost na elektrický signál. Jejich metrologické charakteristiky významně ovlivňují přesnost všech druhů elektromechanických vah. Podle OIML, směrnice IR60, se snímače zatížení dělí do tříd přesnosti A, B, C, D. Pro průmyslovou vážicí techniku jsou aktuální snímače zatížení třídy C, jejichž měřicí princip je téměř výhradně založen na aplikaci kovových tenzometrů.

Třída přesnosti snímače zatížení je určena maximálním počtem **n** ověřovacích dílků **e**, vypovídajících o počtu číselných kroků, na které může být rozdělen měřicí rozsah vážení **Max**, aniž by chyby snímače

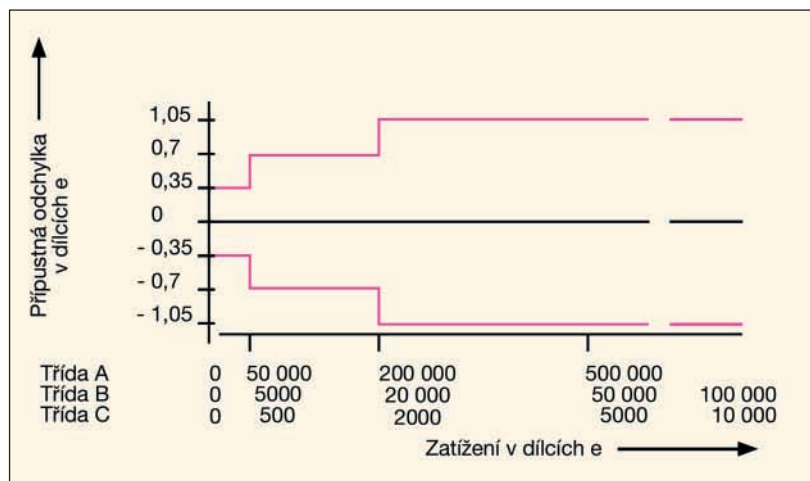
(nelinearita, hystereze, reprodukovatelnost v předepsaném intervalu teplot) překročily největší dovolenou chybu v dané třídě přesnosti snímače. Odchylka od správné hodnoty je udávána v ověřovacích dílcích, jejichž velikost je určena vztahem:

$$e = \frac{\text{Max}}{n}.$$

Z metrologického hlediska je výhodný minimální rozdíl mezi vážicím rozsahem snímače zatížení a jeho poněkud větším jmenovitým zatížením.

Na **obr. 3** jsou uvedeny největší dovolené chyby, vyznačující přípustné odchylky v ověřovacích dílcích **e**

Obr. 3 Graf dovolených chyb vyjadřující přípustné odchylky snímačů zatížení ve třídách přesnosti A, B, C



pro snímače zatížení ve třídách přesnosti A, B, C. Podle směrnice IR60 nepřekračují největší dovolené chyby snímačů zatížení při jejich násobku součinitelem 0,7 největší dovolené chyby elektromechanických vah ve třídách přesnosti I, II, III.

Na rozdíl od snímačů sil cejchovaných v N, kN a MN jsou snímače zatížení cejchovány v jednotkách hmotnosti (g, kg, t). Zohledňují gravitační konstantu v místě cejchování a v místě jejich využívání. Zemské zrychlení se na povrchu zeměkoule mění až o 0,55 %. Na území České republiky je ve stejné nadmořské výšce tato změna zanedbatelná.

Snímače zatížení tvoří zpravidla nejnáročnější část elektromechanických vah z hlediska dlouhodobé přesnosti

a spolehlivosti. Soudobá elektronika pro měření a zpracování signálů ze snímačů zatížení splňuje bez problémů požadované metrologické parametry.

Zatímco metrologické parametry elektroniky se rychle ověří kalibračními obvody umístěnými v přístroji na obslužném pracovišti vah, ověřují se metrologické parametry snímačů zatížení až po jejich demontáži v příslušné cejchovní laboratoři, což je nákladné a může na čas vyřadit váhu z provozu.

Snímače zatížení různých výrobců, i když splňují doporučení OIML, nejsou stejně přesné, mají rozdílný odstup od mezí přípustných chyb a rozdílně probíhá při jejich exploataci degrační proces vedoucí ke snížení přesnosti.

O metrologických charakteristikách snímačů zatížení

Metrologické charakteristiky snímačů zatížení jsou definovány podle dále uvedených chyb vztažených k jejich jmenovitým hodnotám:

δ_L – chyba linearity je největší odchylka měřicího signálu od ideálně uvažovaného průběhu měřicího signálu

δ_H – chyba hystereze je největší rozdíl mezi průběhem měřicího signálu od jeho nulové hodnoty při zvyšování zatížení do jeho jmenovité hodnoty a průběhem měřicího signálu při klesajícím zatížení z jeho jmenovité hodnoty k nule

δ_R – chyba reprodukovatelnosti je největší rozdíl mezi hodnotami jmenovitého měřicího signálu při opakovaném zatěžování za stejných podmínek

δ_t – chyba tečení (dopružování) je rozdíl jmenovitého měřicího signálu

měřeného při konstantním zatížení snímače a konstantních podmínkách ve stanoveném časovém intervalu (např. 30 min.) od počátku zatížení

δ_{t0} – chyba nulové hodnoty měřicího signálu nezatíženého snímače je její největší odchylka v určeném intervalu teplot od nulové hodnoty měřeného signálu při referenční teplotě

δ_T – chyba jmenovité hodnoty měřicího signálu vlivem teploty je její největší odchylka v určeném intervalu teplot od jmenovitého měřicího signálu při referenční teplotě

δ_s – chyba sloučená zahrnuje chyby δ_L , δ_H , δ_R .

Při aplikaci současných poznatků vědy a techniky limituje přesnost snímačů zatížení nejčastěji dopružování jejich deformačních členů.

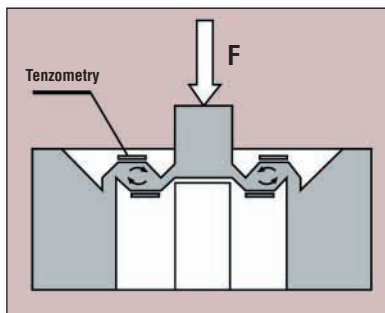
Snímače zatížení typu RTN ve vahách SCHENCK



Obr. 4 Snímače zatížení typu RTN

V přesných elektromechanických vahách SCHENCK jsou používány snímače zatížení typu RTN (viz **obr. 4**) v rozsahu jmenovitých zatížení 1 t až 470 t. Princip deformačního členu těchto snímačů je na **obr. 5**. Při zatížení snímače v jeho měřicí ose působí na kroužek deformačního členu naznačené ohybové napětí, které vede ke vzniku tangenciálních napětí a tedy i tangenciálních deformací na horní měřicí části kroužku v tlaku (střední průměr tohoto kroužku se zkracuje) a na spodní měřicí části kroužku v tahu (střední průměr

tohoto kroužku se prodlužuje). Tangenciální deformace na obou měřicích plochách kroužků jsou měřeny čtyřmi spirálově vinutými tenzometry ve tvaru mezikružích zapojenými do úplného, ve všech ramenech aktivního Wheatstoneova můstku.



Obr. 5 Princip deformačního členu snímačů zatížení typu RTN

Hlavní metrologické charakteristiky snímačů zatížení typu RTN jsou uvedeny v **tab. 1** pro teplotní rozsah vážení -10°C až $+40^{\circ}\text{C}$. Pro rozšířený rozsah teplot vážení -30°C až $+40^{\circ}\text{C}$ lze počítat se zhoršením me-

Tab. 1 Přehled metrologických dat vyráběných snímačů typu RTN

Třída přesnosti	0,1	0,05	C3	C4	C5	C3 MI 7,5	C4 MI 7,5
Sloučená chyba [%]	0,1	0,05	0,02	0,015	0,01	0,013	0,013
Dopružování při zatížení/ 30 min. [%]	$\pm 0,06$	$\pm 0,04$	$\pm 0,024$	$\pm 0,018$	$\pm 0,014$	$\pm 0,009$	$\pm 0,009$
Teplotní součinitel nulového signálu při teplotním rozsahu -10°C až 40°C [%/10K]	$\pm 0,1$	$\pm 0,03$	$\pm 0,007$	$\pm 0,0058$	$\pm 0,0058$	$\pm 0,0058$	$\pm 0,0058$
Teplotní součinitel jmenovitého signálu v teplotním rozsahu -10°C až 40°C [%/10K]	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$	$\pm 0,008$	$\pm 0,007$	$\pm 0,0062$	$\pm 0,007$	$\pm 0,007$
Max. počet dílků v jednom rozsahu			3 000	4 000	5 000	3 000	4 000
Max. počet dílků ve dvou rozsazích						7 500	7 500

metrologických charakteristik nejvýše o 15 %. Snímače vyráběné v sedmi třídách přesnosti pokrývají potřebu pro standardní prů-

myslové vážení, pro výjimečně přesná obchodní vážení a nejpresnější vážení fyzikální. Zvláště je třeba upozornit na nízkou hodnotu dopružování, která u snímačů vyšších tříd přesnosti je několiknásobně nižší v porovnání se všemi známými snímači zatížení. Na **obr. 6** je grafické zpracování výsledků kalibrace snímače typu RTN ve třídě přesnosti C4 Mi 7,5. Jeho metrologická cha-

	C3 Mi 7,5	C4 Mi 7,5
Vážicí rozsah	0 – 1 500 kg	0 – 1 500 kg
1. rozsah	10 – 600 kg (0,2 kg)	10 – 800 kg (0,2 kg)
2. rozsah	600 – 1 500 kg (0,5 kg)	800 – 1 500 kg (0,5 kg)

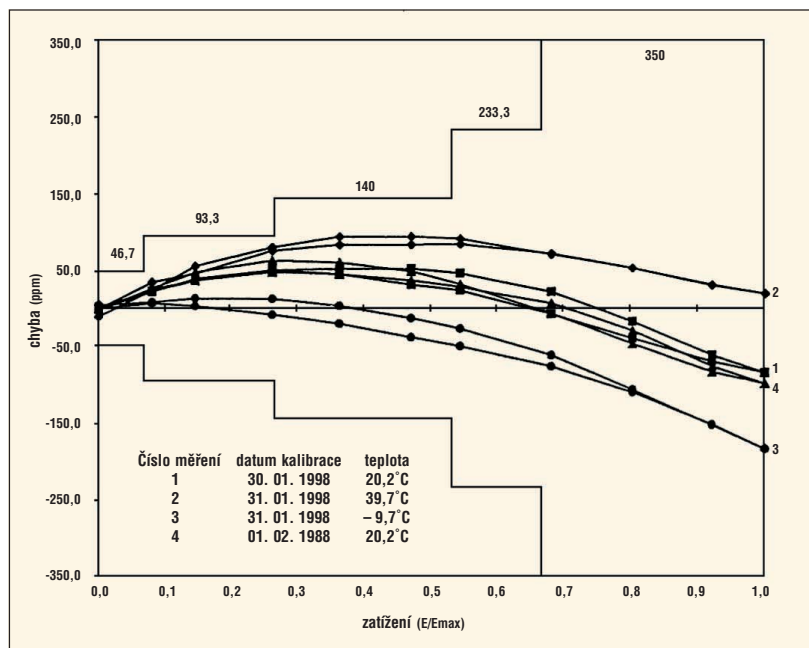
Tab. 2 Příklad dat snímačů zatížení typů RTN C3 Mi 7,5 a C4 Mi 7,5. Údaje v závorkách značí velikost dílků.

rakteristika vyhovuje normě se značnými rezervami. Dvourozsahové snímače RTN ve třídách přesnosti C3 Mi 7,5 a C4 Mi 7,5 představují novinku ve světovém měřítku.

V **tab. 2** je uveden konkrétní příklad jejich hlavních technických a metrologických parametrů.

Při jmenovité citlivosti snímačů typu RTN 2,85 mV na jeden volt napájení a při doporučeném max.

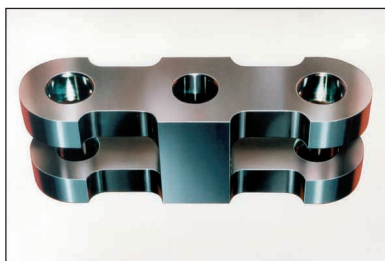
Obr. 6 Grafické zpracování výsledku kalibrace snímače typu RTN C4 Mi 7,5



napájecím napětí 60 V je jmenovitý měřicí signál 170 mV několikanásobně větší v porovnání se jmenovitým měřicím signálem jiných známých snímačů zatížení.

Velkou předností snímačů zatížení využívajících deformační člen podle **obr. 5** je dlouhodobá stabilita jejich metrologických charakteristik. V průběhu deseti let exploatace se metrologické charakteristiky těchto snímačů mění jen nepatrně a nepřekračují největší dovolenou chybu. Jako příklad je v **tab. 3** uvedena změna základních metrologických parametrů snímače zatížení RTD.1 po sedmi letech provozu.

Pro úplnost je třeba se zmínit, že z produkce snímačů zatížení typu RTN jsou vybírány snímače nazvané



Obr. 7 Snímač měřící zatížení má tvar funkční součásti technologického zařízení

tunelech atd. U těchto snímačů s vyšší přesností v porovnání s ostatními jsou prováděny rozsáhlejší kompenzace a kalibrace.

V současné době se rozvíjí v průmyslové vážicí technice nový obor – mechatronika. Snímače zatížení jsou integrovány do konstrukčních řešení průmyslových výrobků. Tvary jejich deformačních členů jsou zpravidla nekonvenční. Slouží jako optimální součást konstrukčního řešení i jako snímač zatížení (viz **obr. 7**).

Podrobně byla posuzována verze snímače zatížení s vestavěnou elektronikou v porovná-

		1987	1993
<i>Jmenovitá citlivost</i>	<i>[mV/V]</i>	2,85133	2,85118
<i>Chyba linearity</i> <i>(neoptimalizováno)</i>	<i>[%]</i>	0,0188	0,0205
<i>Hystereze</i>	<i>[%]</i>	0,0089	0,0126
<i>Dopružování/ 30 min.</i>	<i>[%]</i>	0,0049	0,0053

Tab. 3 Změna chyb δ_L , δ_H , δ_L snímače zatížení typu RTD.1 po sedmi letech provozu

„Meister – Wagezellen“ určené pro velmi přesná fyzikální měření, která musí vyhovět normě EN 10002-3, třídy 00, např. jako normály v cechovních zařízeních pro snímače sil, pro měření v aerodynamických

ní s popsaným snímačem zatížení typu RTN. Z hlediska metrologie i praktických hledisek jeho instalace v provozu se jeví výhodnější snímač zatížení typu RTN, tedy bez vestavěné elektroniky.

Průmyslová vážicí technika včera a dnes

Pan Carl Schenck – zakladatel firmy v roce 1885 – sedící na vážicím křesle (**obr. 89**) tehdy ještě netušil, jakými cestami se bude ubírat vážení příštích 150 let a do jakých oborů pronikne a výrazně zasáhne.

První váhy byly používány v obchodním styku. Tento způsob použití a do značné míry i podoba vah zůstaly zachovány až do dnešní doby. Přesnosti vážení běžně dosahované mechanickými váhami již počátkem tohoto století se při použití elektronických prvků a snímačů s kovovými tenzometry podařilo dosáhnout až na přelomu 70. a 80. let. Avšak i dnes jsou nejpřesnější speciální váhy často konstruovány jako mechanické. U vah používaných v obchodním styku měl nástup elektroniky pro uživatele hlavní význam v komfortu obsluhy, v možnosti současného zpracování dat o vážených předmětech, v bilancování a tisku dokladů. Řada obchodních vah je začleněna do celopodnikových ekonomických a informačních systémů.

Mnohem větší význam měl nástup elektroniky pro váhy používané v technologických procesech a to zejména ve vztahu k možnostem

jejich automatizace. Realizace zásobníkových, jeřábových a plošinových vah se s nástupem tenzometrů podstatně zjednodušila a váhy těchto typů, nebo lépe komponenty pro jejich stavbu se staly standardními stavebními prvky automatizovaných systémů jakými jsou i stavoznaky, snímače zatížení, polohy, tlaku, průtoku a pod.

Zásadní význam měla elektronizace vážicích zařízení, jejichž součástí jsou regulační obvody použité ve všech diskontinuálních a kontinuálních systémech se zpětnovazebními smyčkami. Tento zlom znamenal výrazné zefektivnění a zkvalitnění většiny technologických procesů v chemickém a potravinářském průmyslu, hutnictví a při výrobě cementu. Neméně významná byla i úspora pracovních sil a vyloučení lidského faktoru z různých technologických procesů.

Projektování a budování vah a vážných systémů se na jedné straně díky elektronizaci a standardizaci významně zjednodušilo, na druhé straně se vynořila řada dříve neznámých problémů souvisejících s návrhem bezchybných a odolných přenosů zatěžovacích sil do sníma-



Obr. 89 Zakladatel firmy Carl Schenck sedící na vážicím křesle

cích prvků, integrací vah do logistických a informačních systémů a material-handlingem u kontinuálních vah pro sypké hmoty. Proto i nadále zůstává obor vážení významným, technicky náročným a rozsáhlým oborem, i když se jeho náplň již v mnohém změnila.

Autoru této knihy nezbývá než doporučit všem zájemcům, uživatelům a projektantům, kteří se s vá-

žicí technikou dostanou do styku, aby se obraceli na firmy renomované, s dlouholetými zkušenostmi a zázemím a na skutečné odborníky, kteří své znalosti prokazují nejen slovy, ale i činy. Jen tak mají naději, že se v jejich okolí vyskytnou pouze památníky významných osobností nebo událostí a nikoliv „památníky“ nevydařených pokusů o průmyslové váhy.