



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

PŘEHLED VÝVOJE KONSTRUKCE VZDUCHOLODÍ

OVERVIEW OF THE DEVELOPMENT OF AIRSHIP CONSTRUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Žila

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Martin Žila**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Přehled vývoje konstrukce vzducholoďí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vzducholoďe ve své době představovaly vrchol v oblasti létajících strojů. Poskytovaly možnost říditelného letu v kombinaci s dlouhým doletem, velkou nosností a poměrně velkou rychlostí. Jejich urychlený vývoj a masovou výrobu umožnilo především nasazení v první světové válce. V meziválečném období pak sloužily jako luxusní dopravní prostředek umožňující nejen vyhlídkové, ale i zaoceánské lety. Po nehodě lodi Hindenburg v roce 1937 se však prakticky přestaly využívat a své znovuzrození zaznamenaly až na konci dvacátého století.

Cíle bakalářské práce:

V rámci literární rešerše zpracujte chronologický vývoj vzducholoďí a jejich využití v průběhu dějin. Práce by se měla zaměřit na popis konstrukce vzducholoďí včetně vnitřního uspořádání a procesu výroby.

Seznam doporučené literatury:

PLOCEK, P., SVITÁK, P., BALEJ, J.. Balony a vzducholoďe: [historie vzduchoplavby a létání]. Brno: CPRESS, 2013. ISBN 978-80-264-0264-0.

<https://zeppelin-nt.de/en/homepage.html>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je vytvořit chronologický přehled vývoje vzducholodí a jejich využití. Práce se zaměřuje především na vzducholodě s vyztuženou konstrukcí. Popisuje jejich vnitřní uspořádání, proces výroby a také způsob, jakým byly provozovány.

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to create a chronological overview of the development of airships and their use. The work focuses mainly on rigid airships. It describes their internal layout, production process and also the way in which they were operated.

Klíčová slova

Vzducholod', zeppelin, aerostat, DELAG, vodík, helium, Graf Zeppelin

Keywords

Airship, zeppelin, aerostat, DELAG, hydrogen, helium, Graf Zeppelin

Bibliografická citace

ŽILA, Martin. *Přehled vývoje konstrukce vzducholodí*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140010>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. 70 s. Vedoucí práce Jaroslav Juračka.

Prohlášení o původnosti

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Přehled vývoje konstrukce vzducholodí“ vypracoval samostatně. Veškeré prameny a zdroje informací, které jsem použil k sepsání této práce, byly citovány v textu a jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

20. května 2022

Martin Žila

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Jaroslavu Juračkovi, Ph.D za cenné rady, užitečné připomínky a odborné vedení při zpracování této bakalářské práce.

Také bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za jejich podporu během mého studia.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Historie.....	11
2.1	Francie.....	11
2.2	Německo.....	12
2.3	Velká Británie.....	13
2.4	Itálie.....	13
2.5	Vývoj zeppelinů.....	14
2.5.1	Ferdinand von Zeppelin.....	14
2.5.2	Manzelská éra.....	15
2.5.3	Friedrichshafenská éra.....	17
2.5.4	První světová válka.....	18
2.5.5	Zlatá éra.....	19
3	Konstrukce.....	21
3.1	Typy vzducholodí podle míry vyztužení.....	21
3.1.1	Neztužená vzducholod'.....	21
3.1.2	Vyztužená vzducholod'.....	21
3.1.3	Poloztužená vzducholod'.....	21
3.2	Nosné plyny.....	21
3.2.1	Vodík.....	22
3.2.2	Helium.....	22
3.2.3	Svítiplyn.....	22
3.3	Plynové oddíly.....	23
3.3.1	Tkanina potažená pryží.....	23
3.3.2	Zlatotepecká blána.....	23
3.3.3	Filmhaut.....	24
3.4	Vnější plášť.....	24
3.5	Pohon.....	25
3.6	Vnitřní uspořádání.....	27
3.6.1	LZ 126.....	27
3.6.2	Graf Zeppelin.....	28
3.6.3	Hindenburg.....	30
3.7	Výroba.....	34
3.7.1	Výroba kostry.....	34

3.7.2	Potahování a dokončovací práce	35
4	Využití.....	37
4.1	Zeppelin v 1. světové válce	37
4.1.1	Bojové mise.....	37
4.1.2	Výzbroj a vybavení zeppelinů.....	37
4.1.3	Posádky a jejich vybavení	38
4.1.4	Základny.....	39
4.2	Ostatní vojenské vzducholodě	39
4.3	DELAG.....	40
4.4	Polární lety.....	43
4.4.1	Norge.....	43
4.4.2	Italia.....	43
4.4.3	Graf Zeppelin	44
5	Provoz.....	46
5.1	Řízení.....	46
5.2	Navigace a komunikace.....	47
5.3	Pozemní obsluha.....	49
5.3.1	Kotvící stožáry	49
5.3.2	Hangáry	50
5.3.3	Přistávání.....	51
5.4	Problémy při provozu	52
5.5	Nehody.....	54
6	Moderní vzducholodě.....	56
6.1	Zeppelin NT.....	56
6.2	Neztužené vzducholodě	57
6.3	Hybridní vzducholodě	58
7	Závěr.....	60
	Seznam použitých zdrojů	61
	Seznam obrázků	66
	Seznam příloh.....	67

1 Úvod

Vzducholodě hrály ve vývoji letectví významnou roli. Na začátku dvacátého století převyšovaly svými výkony většinu tehdejších letadel. Řeč je v tomto případě především o vzducholodích vyztužené konstrukce. Kostra těchto vzducholodí, zpravidla zhotovená z duralu, umožňovala stavět stroje obrovských rozměrů. Velké rozměry umožnily vyztuženým vzducholodím pojmout také velké množství nosného plynu. S jeho množstvím samozřejmě narůstala i nosnost, a s ní také schopnost nést více paliva, a tedy větší dolet.

Velký prostor je v této práci věnován dílu hraběte Ferdinanda von Zeppelin a jeho pokračovatelů. Právě vyztužené vzducholodě Zeppelinovy konstrukce totiž byly nejvíce významné, a to jednak z pohledu množství vyrobených strojů, jednak z důvodu četných úspěchů a prvenství, kterých se jim dostalo.

Již před první světovou válkou měly zeppelininy na poli letectví skoro bezkonkurenční postavení. Byly provozovány vůbec první celosvětově vzniklou civilní leteckou společností a dokázaly bez nehod přepravovat tisíce pasažérů. Ve válce pak zeppelininy svými počty, ale i svými výkony zastínily většinu ostatních vzducholodí a často i konvenčních letounů. Jejich nosnosti, doletu, ale i dostupy se po dlouhou dobu nemohl žádný jiný létající stroj vyrovnat.

Tato práce si klade za cíl zpracovat chronologický přehled vývoje vzducholodí a jejich využití v průběhu dějin. Jednotlivé kapitoly tak postupně pojednávají o vývoji a zdokonalování vzducholodí od úplných počátků, přes prvotní velké úspěchy, až po tzv. zlatou éru vzducholodí, kdy létaly zeppelininy na pravidelných linkách přes Atlantický oceán.

Práce také podrobně popisuje, jak byly vzducholodě konstruovány, včetně popisu vnitřního uspořádání významných zaoceánských vzducholodí. Není zde opomenuta ani provozní stránka, včetně množství problémů, které museli konstruktéři i posádky vzducholodí pro zajištění úspěšného provozu překonávat.

Poslední kapitola se ve stručnosti věnuje moderním vzducholodím a slouží především pro porovnání provozních podmínek a způsobů využití dnešních vzducholodí oproti těm historickým.

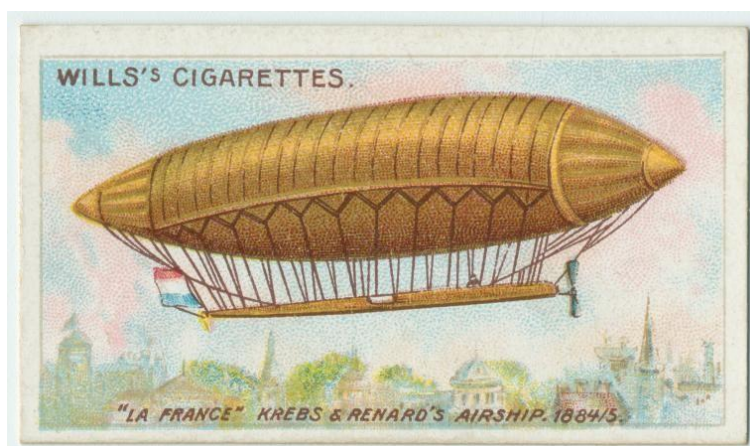
2 Historie

První vzducholodě začaly vznikat v druhé polovině 19. století. Do té doby byly k létání využívány pouze balony. Ty však v této době zažívaly svůj druhý rozmach a byly velmi oblíbené – odrážely se i v módě, umění, zdobily předměty denní potřeby apod., a byly vyráběny i sériově. Podnět pro sestavení vzducholodě přitom pochází od francouzské armády. Francouzi potřebovali při obléhání Paříže v rámci prusko-francouzské války zajistit komunikaci se zbytkem Francie. Toho nebyly balony v dostatečné míře schopny, především kvůli své závislosti na příznivém větru. Cílem proto bylo postavit vzducholod', která by měla vlastní pohon, a která by byla říditelná, v důsledku čehož by mohla létat z Paříže i zpět.

2.1 Francie

Skutečně první říditelnou vzducholod' postavil Henri Giffard. Jeho vzducholod' plněná vodíkem o objemu 2500 m³ se poprvé vznesla již roku 1852. Pohon zajišťoval upravený parní stroj spalující koks o výkonu 3 HP. Tento motor dačavající vrtuli pouhých 110 ot/min tak byl příliš slabý na to, aby mohla vzducholod' letět proti větru. Při svém jediném letu dosáhla Giffardova vzducholod' výšky 1800 m, rychlosti 10 km/h a uletěla celkem 27 km.

Roku 1884 provedli vojenští inženýři Charles Renard a Arthur Krebs se svojí vzducholodí La France první let po uzavřené křivce. Svůj slavný let o délce 7,6 km zvládli za 23 minut. La France měla délku 50 m, její největší průměr činil 8,4 m a byla nadnášena vodíkem o objemu 1864 m³. Pod vodíkovým balonem se nacházela bambusová gondola potažená plátnem, v níž byl umístěn Grammeův stejnosměrný elektromotor s 3600 ot/min a výkonem 8 HP. Motor poháněl dvoulistou vrtuli, která měla díky převodu 40 až 60 ot/min. Vzducholod' byla vybavena směrovým i výškovým kormidlem s povrchem 13 m², resp. 7 m². Díky tomu se dokázala vrátit na místo svého startu při pěti z celkových osmi letů.

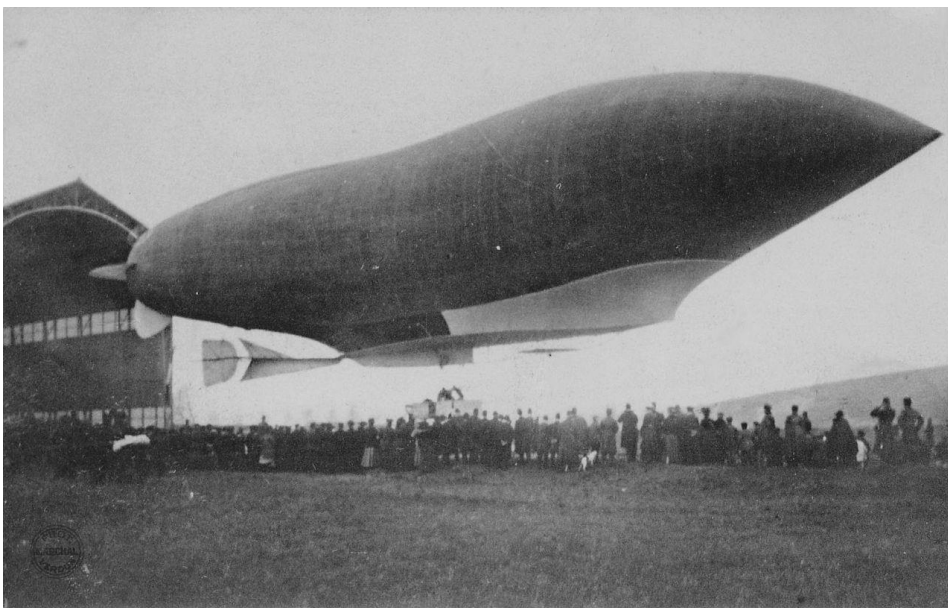


Obr. 2-1 La France na dobovém plakátu [1]

Bohatý brazilský kávový plantážník žijící v Paříži, Alberto Santos-Dumont, se svojí miniaturní vzducholodí č. 6, která měla objem pouhých 630 m³, vyhrál roku 1901 soutěž o obletění Eiffelovy věže (z města Saint-Cloud a zpět za půl hodiny). Výhru v hodnotě 100 000 franků dále investoval a celkem tak postavil více než 12 vzducholodí. Ty dle svědků využíval k rychlé přepravě po Paříži.

Pierre a Paul Lebaudy, průmyslníci, kteří zbohatli na výrobě cukru, si nechali postavit poloztuženou (viz kapitola 3.1) vzducholod' s velkými horizontálními a vertikálními kormidly s cílem zajistit stroji stabilitu. Jejich vzducholod' Jaune dokázala při svém letu v roce 1903 uletět trojúhelníkovou trať dlouhou 37 km za 1 hodinu a 36 minut. Při jednom z dalších letů se jejich vzducholodi podařilo dokonce překonat 98kilometrovou vzdálenost. V roce 1908 Lebaudyové prodali svůj stroj armádě, která jejich úspěchy sledovala již od roku 1905.

V následujících letech nadále spolupracovali s armádou, které prodali vzducholodě Patrie a République o objemech 2900 m³ a 5230 m³. Obě dokázaly v armádě sloužit zhruba po dobu jednoho roku, než byly v důsledku nehod zničeny. Od roku 1909 do roku 1911 postavila firma Lebaudy dalších šest vzducholodí, z nichž vzducholod' Liberté byla se svým objemem 7000 m³ a délkou 85 m největším létajícím strojem své doby. Liberté byla poháněna dvěma motory Panhard-et-Lavassor o výkonu 80 HP, které jí umožňovaly letět rychlostí 53 km/h.



Obr. 2-2 Vzducholod' Patrie [2]

2.2 Německo

V roce 1896 postavil doktor teologie Friedrich Wölfert vzducholod' Deutschland o objemu 800 m³, která byla poháněná motorem Daimler o výkonu 8 HP. Deutschland ve své době vytvořila při jednom ze svých letů výškový rekord, když vystoupala do 1940 metrů. V roce 1897 ale Deutschland vybuchla a zabila dva vzduchoplavce.

Další svým způsobem výjimečnou vzducholod' postavil německý inženýr David Schwartz. Plynový balon jeho vzducholodě byl zhotoven z hliníkového plechu o tloušťce 2-10 mm. Motor Daimler o výkonu 12 HP poháněl celkem čtyři vrtule. Schwartz se ale jejího vzletu nedožil. Stroj byl navíc zcela zničen v listopadu roku 1897 po prudkém pádu, kdy pilot upustil příliš velké množství vodíku.

Vedle úspěšných Zeppelinových závodů (viz kapitola 2.5) produkovala od roku 1909 vyztužené vzducholodě také firma Schütte-Lanz Luftschiffbau v Mannheimu. Na rozdíl od zeppelinů

s duralovou kostrou byly základními materiály kostry jejich vzducholodí dřevo a překližka. První vzducholod' vzlétla v říjnu 1911 a po celou dobu první světové války tato firma produkovala moderní aerodynamicky řešené stroje.

Firma Parseval Luftfahrzeug Ges. Bitterfeld vyrobila mezi lety 1906-1917 sedm neztužených vzducholodí Parseval a později se podílela na výrobě vzducholodí Schütte-Lanz.

2.3 Velká Británie

Velká Británie používala na začátku 20. století pouze upoutané dělostřelecké balony a o vývoj vzducholodí nejevila velký zájem. Její první armádní vzducholod' Nulli Secundus s objemem 1440 m³ spatřila světlo světa v roce 1907. Do roku 1912 postavili Britové dalších pět vzducholodí, které byly používány k průzkumným účelům [3].

Britské námořnictvo, inspirované Zeppelinem, si v roce 1909 objednalo u firmy Vickers stavbu vyztužené vzducholodě His Majesty's Airship No. 1 o délce 156 metrů. Tato vzducholod' ale nikdy neletěla, protože se před svým prvním letem kvůli větru zlomila v půli. Následkem bylo, že Britové přerušili jakýkoliv vývoj vyztužených vzducholodí [4].

Po vstoupení VB do války v srpnu 1914 byla zahájena sériová výroba jednoduchých neztužených vzducholodí zvaných Blimp. Královskému námořnictvu pak byly v průběhu války dodány desítky takovýchto vzducholodí různých typů. Pro hlídkování v Severním moři byl vyvinut typ vzducholodě N.S., který se vyznačoval rychlostí přes 90 km/h a minimální vytrvalostí 24 hodin [3]. Válka také přinutila Británii vrátit se k opuštěnému záměru stavět vyztužené vzducholodě typu R (Rigid). V důsledku předchozího nezájmu o tento typ konstrukce jim ale chyběly zkušenosti, vývoj se protahoval a výsledky byly minimální. Několik úspěšných modelů bylo postaveno až podle trosk sestřelených německých vzducholodí, avšak často byla jejich stavba dokončena až po válce [3].

Jednou z úspěšných kopií německé konstrukce byla vzducholod' R34, která v červenci 1919 jako první přeletěla Atlantik. V roce 1924 se britská vláda rozhodla, že pomocí vzducholodí výrazně zlepší spojení s odlehlými částmi Britského impéria. Před koncem 20. let byly postaveny vzducholodě R100 a R101, které měly objem kolem 150 000 m³. Svými velkými prostory pro pasažéry uvnitř trupu připomínaly pozdější německý Hindenburg. R101 však havarovala hned při své první cestě do Indie v roce 1930 a krátce nato byla raději sešrotována i R100. Britské vyztužené vzducholodě se tak nikdy nedostaly k tomu, aby byly dlouhodobě provozovány v rámci civilní přepravy [4].

2.4 Itálie

Itálie šla ve vývoji vzducholodí vlastní cestou. První italská vzducholod' jménem Italia byla poloztužená a byla vyrobena v roce 1905. V roce 1908 vyrobily a zalétaly italské vojenské továrny první typ vzducholodí N.1, po které následovaly typy N.1 bis, N.1 ter a N.2 V. V armádní službě jim byly přiděleny zkratky P. 1 a P. 2 a společně s další vzducholodí P. 3 byly úspěšně nasazovány v Italsko-turecké válce v severní Africe v letech 1911 a 1912. Vzducholodí typu P (malý typ s objemem 4900 m³) bylo vyrobeno celkem šest kusů a později se k nim přidalo i 12 kusů nového typu M (střední typ s objemem cca 10 000 m³). V roce 1912 vyrobila

továrna Enrica Forlaniniho vzducholod' Citta di Milano s objemem 12 000 m³, která byla převzata námořním letectvem.

Pod vlivem velkých zeppelinů byl v roce 1915 zahájen vývoj řady G (velký typ), ke kterým se ještě před válkou přidaly vzducholodě typu V (rychlý typ). Forlanini během války vyvinul i vzducholodě řady F, které byly technicky a aerodynamicky velmi zdařilé. Během první světové války byly italské vzducholodě nasazovány do bombardovacích akcí, které nepříteli způsobovaly velmi značné škody [3].

Významným italským konstruktérem vzducholodí byl také generál Umberto Nobile. Ten společně s dalšími leteckými inženýry postavil vzducholod' Roma, která byla roku 1921 prodána do USA, kde byla provozována americkou armádou. Při jednom ze svých letů ale explodovala a stala se příčinou toho, že v USA bylo zakázáno plnit vzducholodě vodíkem [15].

Nobile později zkonstruoval další dvě poloztužené vzducholodě se jmény Norge (o objemu 19 000 m³) a Italia (o objemu 18 500 m³), které byly určené pro výzkumy v oblasti severního pólu. Se vzducholodí Norge dokázal v roce 1926 jako první úspěšně přeletět severní pól, avšak po katastrofě vzducholodí Italia rozjela italská fašistická vláda kampaň na jeho diskreditaci. V důsledku toho se přesunul do Moskvy, kde působil jako poradce pro konstrukci sovětských vzducholodí [42].

2.5 Vývoj zeppelinů

2.5.1 Ferdinand von Zeppelin

Hrabě Ferdinand von Zeppelin byl šlechtic a voják pocházející z Kostnice na březích Bodamského jezera. K myšlence postavit vyztuženou vzducholod' ho inspirovalo použití balonů v americké občanské válce a prusko-francouzské válce, jichž se účastnil. Tímto konceptem se zabýval již v 70. letech 19. století, tedy mnoho let před úspěchem La France či Wölferta. Přemýšlel nad různými technickými řešeními a materiály, které by použil pro svou vzducholod' o plánovaném objemu 20 000 m³. Už v této době přitom měl poměrně reálné představy o tom, jak by vypadalo použití takových vzducholodí v civilní dopravě.

Bohužel byl dlouho vnímán pouze jako voják a diplomat, bez jakékoliv vědecké či technické autority, takže jeho vize nikdo nebral příliš vážně. Navíc v té době vzducholodě prakticky neexistovaly a ani císařská armáda nevěřila v možnost jejich vojenského využití. Zeppelin však byl ve své práci velmi vytrvalý, neúnavný a cílevědomý. Mnoho let se dále vzdělával a přemýšlel, jak své plány realizovat. K jejich postupné realizaci se dostal až po svém odchodu z armády v roce 1891, kdy mu bylo 52 let.

V té době měl již dostatečné znalosti na to, aby mohl reálně přemýšlet nad technickými detaily své konstrukce. Kromě výběru vhodných materiálů pro kostru, plynové oddíly i potah vzducholodí, a nutnost zkoušení těchto materiálů, přemýšlel i nad výběrem motorů, paliva, chladícího média apod. Mimo jiné zkoumal i geometrii vrtulí a význam čistoty vodíku jakožto nosného plynu. Přemýšlel také nad různými způsoby řízení – od pohyblivého závaží až po vrtule s vertikální osou rotace.

Z těchto důvodů byl již po několik let v neustálém kontaktu s množstvím německých i zahraničních firem, přičemž pečlivě zjišťoval, jaké technologie a materiály by pro svou

vzducholoď mohl využít. Podobně pracovitého společníka se zápalem pro myšlenku vyztužených vzducholoďí nakonec našel v mladém inženýrovi jménem Kober, který pracoval u firmy Riedinger stavějící balony. Více než rok pracovali na projektu vzducholoďí právě jen hrabě Zeppelin a inženýr Kober. Na Královském ústavu pro zkoušení materiálů ve Stuttgartu společně provedli stovky experimentů. Byl to právě Kober, kdo nesl většinu zásluh (co se technického provedení týče) za úspěšné navržení konstrukce Zeppelinovy první vzducholoďi.

Hraběte od jeho vize neodradily ani problémy s financováním a četná zamítnutí vojenských správních orgánů a různých komisí, které měly jeho novátorské plány tuhé vzducholoďi znalecky posoudit, odsouhlasit výrobu prototypu, a zajistit financování z vládních prostředků. Až po několika letech se Zeppelinovi podařilo přesvědčit Svaz německých inženýrů, jehož členem se dokonce mezitím sám stal, o proveditelnosti celého projektu.

2.5.2 Manzelská éra

První zeppelinů pro svůj vzlet i přistání používaly výhradně vody Bodamského jezera. Až do roku 1909 (modely LZ 1 až LZ 6) byly stavěny v dřevěné plovoucí hale, která jim následně sloužila i jako hangár. Hala byla ukotvena v zálivu u městečka Manzell a při vzletech a přistáních ji bylo možné natáčet proti směru větru.

2.5.2.1 LZ 1

Stavba první Zeppelinovy vzducholoďi LZ 1 (Luftschiff Zeppelin) začala již v roce 1898. První let se uskutečnil 2. července 1900, avšak kvůli poruchám trval pouhých 18 minut. LZ 1 měla na délku 128 metrů, v průměru 11,7 metrů a 17 plynových oddílů s celkem 11 700 m³ vodíku. Pod balonem byly zavěšeny dvě kovové gondoly, mezi nimiž bylo zavěšeno posuvné závaží, jehož posunem dopředu či dozadu bylo možné vzducholoď naklápět. V každé gondole byl jeden benzínový motor Daimler o výkonu asi 14 HP pohánějící dvojici tlačných vrtulí. LZ 1 však postrádala jakékoliv stabilizační i ovládací plochy, a navíc její konstrukce sestávala pouze z hliníkových trubkových nosníků, které jí nezaručovaly dostatečnou tuhost. LZ 1 podnikla ještě dva lety s různými dílčími vylepšeními – především byla vyztužena a místo pohyblivého závaží dostala improvizované výškové kormidlo. Její výkony ale nebyly natolik přesvědčivé, aby do Zeppelinova projektu začala investovat armáda, v důsledku čehož byla LZ 1 ještě v roce 1900 rozebrána.

2.5.2.2 LZ 2

Přes velký prvotní neúspěch se Zeppelinovi, díky finanční pomoci mimo jiné od samotného württemberského krále, podařilo po několika letech postavit novou vzducholoď s názvem LZ 2. Ta byla navržena ve spolupráci s inženýrem Ludwigem Dürrem, který zůstal hlavním konstruktérem zeppelinů až do 40. let 20. století. Dürr nahradil trubkové nosníky trojúhelníkovými nosníky (viz kapitola 3.7.1), které již byly vyrobeny z duralu, a byly tedy podstatně tužší. LZ 2 byla vybavena podstatně lepšími motory Daimler o výkonu 75 HP. Ačkoliv vzducholoď musela hned při svém prvním letu v lednu 1906 nouzově přistát, načež byla zničena bouří, její sesterská loď LZ 3 již byla Zeppelinovým prvním velkým úspěchem.

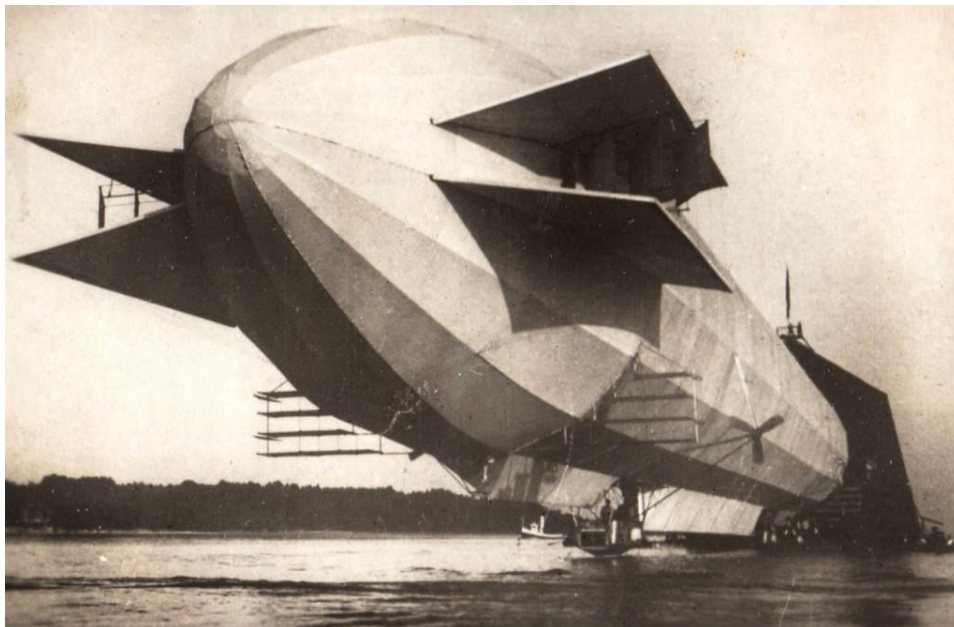
2.5.2.3 LZ 3

Co se týče hlavních rozměrů, byla LZ 3 stejná jako její dvě předchůdkyně. Hlavním vylepšením však byly motory Daimler o výkonu kolem 60 kW, ocasní stabilizační plochy a soustava

kormidel (viz obr. 2-3). Při svém prvním, dvouhodinovém letu, v říjnu roku 1906, vykazovala LZ 3 výbornou stabilitu a říditelnost. Byla také rychlejší než doposud vyzkoušené vzducholodě.

Měl-li však Zeppelin uspět, potřeboval přesvědčit armádu, že jeho vzducholodě jsou vojensky využitelné, a hlavně, že jejich výkony jsou přiměřené ceně, kterou stavba takových obřích strojů vyžaduje. Vzducholod' přitom musela splňovat požadavky, mezi něž patřily především možnost přistávání na pevné zemi a velký akční rádius [5,6].

Na podzim 1907 provedla LZ 3 další čtyři lety, mezi nimi i let trvající přes 8 hodin, což bylo dostatečné. Díky odbornému posudku majora Große, jednoho z hlavních německých expertů v oblasti vzduchoplavby, bylo navíc již dříve rozhodnuto Říšským sněmem o tom, že hrabě Zeppelin bude bohatě odškodněn a do kupní ceny budou zahrnuty i veškeré výdaje za posledních 15 let jeho výzkumů. Nakonec byla LZ 3 samotným císařem v roce 1908 předána vojsku, kde sloužila pro výcvik posádek až do svého zastarání a sešrotování v roce 1913.



Obr. 2-3 Ocasní plochy LZ 3 [6]

2.5.2.4 LZ 4

Čtvrtá vzducholod' hraběte Zeppelina, vyrobená roku 1908, již byla objednána přímo německou armádou. Dle jejích požadavků měla být schopná vydržet ve vzduchu 24 hodin, uletět 700 km a přistát přitom na místě svého startu.

LZ 4 měla podstatně větší plochy směrového a výškového kormidla, motory o výkonu 75 kW a balon o objemu 15 000 m³, tedy skoro o polovinu objemnější než dřívější modely. Navíc se jednalo o první zeppelin, jehož celou délkou procházela vnitřní chodba, která podstatně zvyšovala tuhost celé konstrukce. LZ 4 pořádala vyhlídkové lety kolem Bodamského jezera, při kterých přepravila mnohé německé prominentní osobnosti. Nejvýznamnějšími z nich byl württemberský královský pár či německý korunní princ.

Na začátku srpna roku 1908 provedla LZ 4 dálkový let podél Rýna. Při tomto letu trvajícím déle než 24 hodin se jí podařilo doletět až do města Mainz, kde se otočila a pokračovala zpět

směrem na Stuttgart. U městečka Echterdingen musela vzducholod' nouzově přistát, aby mohla být opravena závada na motoru. Později však došlo k tomu, že LZ 4 byla v důsledku nárazu větru vyrvána ze svého kotviště a odnesena směrem k lesu, kde kompletně shořela.

Po nehodě LZ 4 se Zeppelinovi zdálo, že je vše ztraceno. Tzv. echterdingenský let se však stal symbolem po celém Německu a i díky dřívějším úspěchům se Zeppelin stal v podstatě ze dne na den německým národním hrdinou. V rámci solidarity mu začali jednotliví občané, ale i některé firmy a města, posílat peníze na stavbu další vzducholodí. Paradoxně mu tak nehoda LZ 4 vynesla několik milionů marek, což bohatě stačilo k tomu, aby své podnikání rozjel ještě ve větší míře než doposud.

2.5.3 Friedrichshafenská éra

Ani ne dva měsíce po katastrofě v Echterdingen založil Zeppelin ve Friedrichshafenu společnost Luftschiffbau Zeppelin GmbH, která se ihned pustila do modernizace LZ 3 a začala se stavbou nové LZ 5.

2.5.3.1 LZ 5

První let LZ 5 se uskutečnil v dubnu 1909 a hned tři dny nato odstartoval nový zeppelin na cestu do Berlína. Asi ve čtyřech pětinach cesty se ale LZ 5 musela otočit a po cestě zpět i nouzově přistát. Vlastními silami ale zase vzlétla a úspěšně doletěla až na Bodamské jezero. Tento její let trval celkem 38 hodin, takže i když se nedostala až do Berlína, byla brzy poté odkoupena armádou. Tam poté sloužila jako výcviková vzducholod' Z II společně s LZ 3 označenou jako Z I.

2.5.3.2 LZ 6

Ještě v létě roku 1909 byla dokončena LZ 6, která měla opět objem 15 000 m³, avšak její motory měly výkon 85 kW. Další zeppelinů ale armáda koupit nechtěla, protože pořizovací cena (přes dva miliony marek) byla vzhledem k očekávanému vojenskému využití příliš vysoká. V té době armáda ještě zamítala použití zeppelinů pro válečné nasazení.

Na popud svého spolupracovníka Alfreda Colsmana proto Zeppelin v listopadu roku 1909 založil firmu DELAG (volně přeloženo jako německá akciová společnost pro cesty vzducholodí) s cílem vybudovat v Německu síť pro civilní vzduchoplavbu. Tehdy se jednalo o vůbec první firmu v oblasti civilního leteckého provozu na světě. Právě Zeppelin měl zásluhu na tom, že se vzducholodě dočkaly i mírového využití.

2.5.3.3 LZ 7

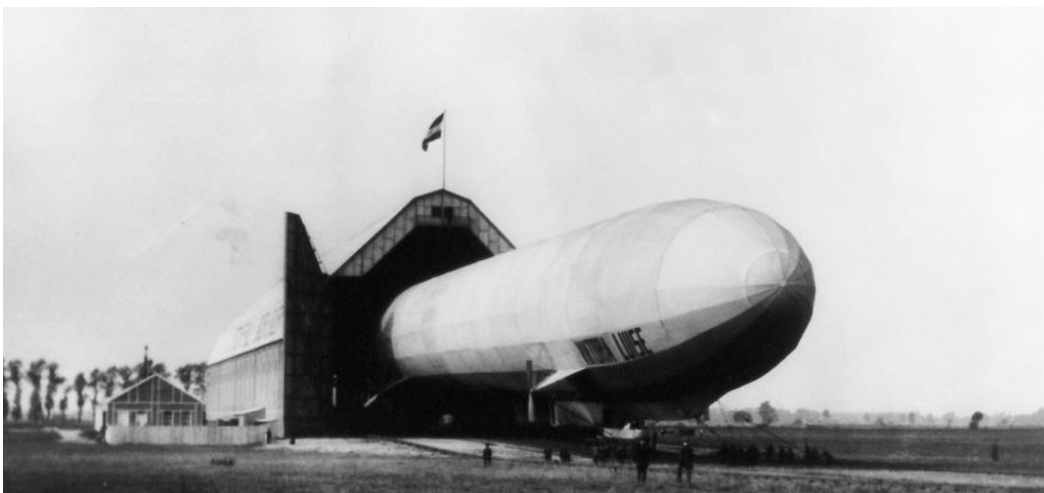
Ke konci roku 1909 byla stavba výrobní haly ve Friedrichshafenu natolik dokončená, že bylo možné stavět nové zeppelinů už výhradně jen zde, čímž definitivně skončila éra plovoucího hangáru v manzelské zátocce. První vzducholodí, která zde byla vyrobena, se stala LZ 7 Deutschland, která už byla navržena speciálně pro přepravu pasažérů.

LZ 7 byla o 12 m delší než její předchůdkyně, měla o 1 m větší průměr, celkem 19 300 m³ vodíku uloženého v 18 plynových oddílech ze zlatotepecké blány (jakožto první zeppelin využívající tento materiál – viz. kapitola 3.3.2) a díky trojici motorů Daimler o výkonu 90 kW byla její maximální rychlost asi 60 km/h. Její ovládací plochy už nebyly složené z více menších ploch jako u předchozích typů (viz obr. 2-3), ale byly tvořeny jednou souvislou plochou.

Během devíti červnových dní roku 1910 uskutečnila LZ 7 celkem 7 letů, přičemž přepravila 212 pasažérů a nalétala 1035 km. Při posledním letu ale musela nouzově přistát v Teutoburském lese, kde shořela. Ani při této nehodě, ani při žádné další nehodě zeppelinu provozovaného společností DELAG však nedošlo k žádnému zranění (kromě úplně poslední nehody vzducholodi Hindenburg) [5].

2.5.3.4 LZ 8 až LZ 25

Brzy po nehodě LZ 7 byla postavena její náhrada LZ 8 Deutschland II. Tu však potkal podobný osud jako LZ 7 a stejně s ní i LZ 12,14,15,18 a 19. Ať už byly tyto vzducholodě provozovány společností DELAG či německou armádou a námořnictvem, staly se nakonec obětí nehod. Při těch buď shořely nebo byly natolik poškozeny, že musely být vyřazeny z provozu. Některé z nich přitom byly využívány jen několik měsíců. První světové války se dočkalo jen 9 vojenských a 3 civilní zeppelinů [7].



Obr. 2-4 Viktoria Luise a hangár v Baden-Baden [6]

Jednou z nich byla i LZ 11 Viktoria Luise, která byla nejúspěšnější vzducholodí firmy DELAG (před 1. sv. v.). Provedla celkem 489 letů, na kterých přepravila celkem 9783 osob, z toho 2995 platících pasažérů (část přepravených osob tvořila posádka a část byla přepravována zadarmo za účelem marketingu). Po vypuknutí války byla LZ 11 společně se zbývajícími LZ 13 Hansa a LZ 17 Sachsen zabavena pro vojenské účely [5].

2.5.4 První světová válka

V průběhu první světové války vyrobila firma Luffschiffbau Zeppelin celkem 87 zeppelinů (tj. jeden za méně než měsíc) s označením LZ 26 až LZ 112 [7]. Ty se neustále zvětšovaly a zdokonalovaly, takže se stávalo, že staré vzducholodě začaly po necelém roce oproti novým modelům zastarávat. Postupně se během války přešlo z původního válcového tvaru pláště na aerodynamický tvar, za kterým stál profesor Schütte [8]. Ten byl dále využíván u všech poválečných zeppelinů.

Na konci první světové války byly zbývající zeppelinů zničeny svými posádkami, aby nepadly do rukou nepřítele. Původně však měly být předány vítězným mocnostem v rámci reparací. Ačkoliv bylo Německu Versailleskou smlouvou zakázáno provozovat a stavět další vzducholodě, bylo nakonec rozhodnuto o tom, že část reparací může být splacena v podobě

vzducholodí. Díky tomu mohly být dostavěny LZ 113 a LZ 114. Po válce byly také postaveny civilní zeppelin LZ 120 Bodensee a LZ 121 Nordstern. Tyto čtyři zeppelin byly odevzdány (v pořadí dle čísel) Británii, Francii, Itálii a Francii.

2.5.5 Zlatá éra

2.5.5.1 LZ 126

V roce 1923 si Spojené státy objednaly u Němců stavbu zeppelinu namísto toho, aby Německo platilo reparace ve zlatě. Z tohoto důvodu byl vyroben další zeppelin s označením LZ 126. Než mohl být předán Američanům, musel ale být na vlastní riziko a náklady Němců přepraven přes Atlantik. Už v roce 1919 se však britské vzducholodi R34, kopii válečného zeppelinu, podařilo vykonat transatlantický let. Němečtí konstruktéři proto již mohli koncipovat LZ 126 jako prototyp civilní vzducholodi pro zaoceánské plavby. Zkušenosti nabyté při jeho konstrukci poté bohatě zúročili při stavbě LZ 127 a LZ 129.

2.5.5.2 LZ 127 Graf zeppelin

Vzducholod' LZ 127 byla vyrobena v roce 1928 a pojmenována jako Graf Zeppelin, na počest zakladatele původní společnosti, hraběte Ferdinanda von Zeppelin, který zesnul roku 1917. Byla sice v pořadí již čtvrtou vzducholodí, která byla vyrobena firmou Luftschiffbau Zeppelin po 1. sv. válce, avšak byla první, která nebyla odevzdána žádné vítězné mocnosti. Mohla tedy být provozována samotnými Němci, konkrétně obnovenou společností DELAG, kde se pod velením Dr. Eckenera stala nejúspěšnější vzducholodí všech dob.

Graf Zeppelin uskutečnil první komerční přelet přes Atlantik, první komerční let kolem světa, provedl úspěšnou vědeckou misi nad severním pólem a obsluhoval také první pravidelnou leteckou linku přes Atlantický oceán. Během své devítileté kariéry uskutečnil Graf Zeppelin celkem 590 letů, při kterých přepravil více než 34 000 pasažérů a nalétal kolem 1 700 000 km.

Graf Zeppelin měl délku 236,6 m, největší průměr 30,5 m a objem nosného plynu 105 000 m³. Graf Zeppelin byl speciální v tom, že část jeho plynových oddílů byla naplněna plynem zvaným Blaugas podle svého objevitele Blaua.

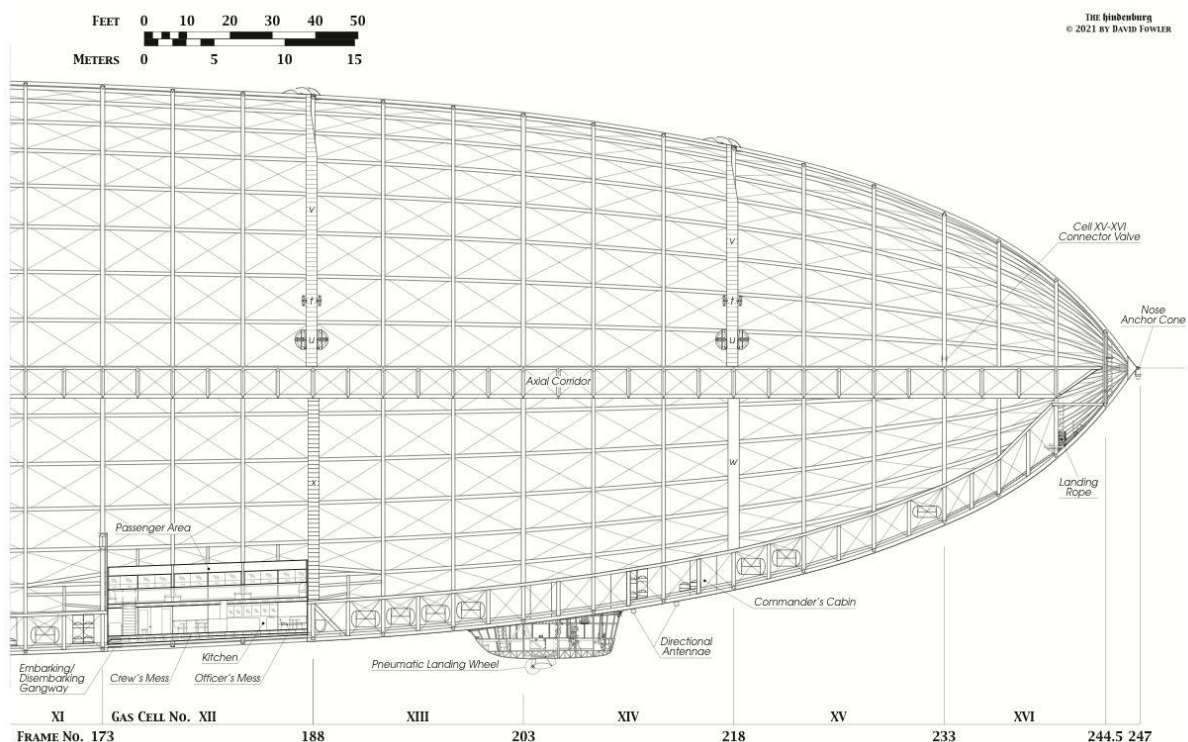


Obr. 2-5 Graf Zeppelin nad San Franciscem [6]

Jednalo se o hořlavý plyn, který měl podobnou hustotu jako vzduch. Když byl Blaugas spalován v motorech, nedocházelo k tomu, že by byla vzducholod' odlehčována, protože původní místo v plynových oddílech bylo zaplněno vzduchem o stejné hustotě jako měl Blaugas. Běžné vzducholodi spalovaly podstatně těžší benzín, takže s postupným spalováním klesala jejich hmotnost. Kvůli tomu bylo nutné pravidelně upouštět z plynových oddílů vodík, aby se ztráta hmotnosti vyrovnala adekvátní ztrátou vztlaku [6,9].

2.5.5.3 LZ 129 Hindenburg

Hindenburg byl postaven v roce 1936 a se svojí délkou 245 m, největším průměrem 41,2 m a objemem plynu 200 000 m³ se stal největším létajícím strojem v historii. Jako první přepravoval cestující na pravidelné lince mezi Evropou a Severní Amerikou. V roce 1936 na této lince přepravil celkem 1002 pasažérů. Do historie se však zapsal 6. května 1937, kdy vzplanul při přistávání na letišti Lakehurst v New Jersey, čímž skončila éra transkontinentálního cestování pomocí vzducholodí. Ve své době však Hindenburg představoval nejrychlejší a nejpohodlnější možnost, jak se dostat přes Atlantik [10]. Hindenburg byl prvním zeppelinem, který měl veškeré vnitřní prostory ukryté uvnitř kostry, na rozdíl od dřívějších modelů, které měly prostory pro cestující výhradně v gondole. Protože jeho sesterská loď LZ 130 už se nedostala do provozu, dá se říct, že byl v tomto ohledu prvním, ale i posledním zeppelinem.



Obr. 2-6 Výkres přídi Hindenburgu s palubami ukrytými uvnitř kostry [25]

3 Konstrukce

3.1 Typy vzducholodí podle míry vyztužení

3.1.1 Neztužená vzducholod'

Trup neztužených vzducholodí není nijak zpevněn a jeho stálý tvar tak zajišťuje pouze tlak nosného plynu. Neztužená konstrukce je chronologicky nejstarší. V podstatě se jednalo o přechod od balonů ke vzducholodím, kdy byl původně kulatý balon upraven do vřetenovitého aerodynamického tvaru a koš zavěšený pod ním byl opatřen pohonnou jednotkou. Jednoduchost této konstrukce umožňovala levnou a snadnou výrobu v masovém měřítku. Neztužené vzducholodě však mohly mít z praktických důvodů pouze omezenou velikost, což omezovalo také jejich nosnost a maximální dolet.

3.1.2 Vyztužená vzducholod'

Vyztužené vzducholodě drží svůj tvar díky pevné kovové (případně dřevěné) kostře. Kostra dodává celé konstrukci velkou tuhost, což umožňuje stavět enormně velké a objemné vzducholodě s nosností v řádu desítek až stovek tun.

Kostra je v podélném směru rozdělena na několik segmentů, kdy v každém segmentu je separátně uložen vak naplněný nosným plynem. Díky tomu si vyztužená vzducholod' dokáže zachovat svůj tvar a většinu aerostatického vztlaku i při rozsáhlejšímu poškození, které by pro jiný typ konstrukce znamenalo rychlý únik nosného plynu a okamžité zřícení.

Vyztužené vzducholodě byly největší létající stroje, které kdy byly vyrobeny. Právě jejich velikost a nosnost umožnily přepravovat najednou desítky pasažérů přes Atlantický oceán.

3.1.3 Poloztužená vzducholod'

Poloztužené vzducholodě tvoří kompromis mezi neztuženou a plně vyztuženou konstrukcí. Disponují částečnou kosterou, tvořenou minimálně kovovým kýlem, který pomáhá držet tělesu vzducholodi tvar, především v jejím podélném směru. Celkový tvar však zajišťuje tlak nosného plynu podobně jako u neztužených vzducholodí. Kýl, který zpravidla prochází celou délkou vzducholodi, zajišťuje poměrně dobrou pevnost, možnost připevnění gondol a v neposlední řadě umožňuje posádce bezpečný přechod mezi gondolami vnitřkem vzducholodi.

V porovnání s vyztuženou konstrukcí se poloztužená konstrukce ukázala jako bezpečnější a spolehlivější. Vyztužené vzducholodě totiž byly náchylné na poškození v bouřích, kdy na jejich dlouhý a tuhý plášť narážely v různých místech silné poryvy větru, což mohlo vést k rozlomení jejich kostry. Oproti tomu méně rozměrné poloztužené vzducholodě byly dostatečně pružné, aby se při působení silných větrů pouze ohnuly.

3.2 Nosné plyny

Vzducholodě fungují na principu Archimédova zákona, kdy jejich plášť musí být pro vyvolání aerostatického vztlaku naplněn plynem o menší hustotě, než jakou má okolní atmosféra. Na základě velikosti rozdílu mezi hustotou nosného plynu a hustotou vzduchu pak může vzducholod' stoupat, klesat či udržovat stálou výšku. Jako nosné plyny se nejdříve používaly vodík či svítíplyn a později helium.

3.2.1 Vodík

Vodík je nejlehčí plyn, jehož atomová hmotnost je 1,0079. Nejdůležitější a nejužitečnější vlastností, pro kterou byl hojně využíván, je jeho nízká hustota, která činí pouhých $0,0988 \text{ kg/m}^3$. Oproti suchému vzduchu je to asi jedna čtrnáctina. Ze všech teoreticky použitelných plynů tak má největší nosnost [11]. Jeden metr krychlový vodíku teoreticky unese zátěž o hmotnosti jednoho kilogramu [12].

Daní za jeho bezkonkurenční nosnost a největší nevýhodou je právě jeho hořlavost, která zapříčinila řadu nehod s tragickými následky. Další jeho nevýhoda je spojená s tím, že dvouatomové molekuly, které tvoří, jsou, co se týče velikosti, ty vůbec nejmenší, které existují. Kvůli tomu vodík velmi dobře difunduje skrz plynové oddíly a také plášť vzducholodi. Při dlouhodobějším provozování proto musí být vzducholod' pravidelně přifukována, aby byly tyto přirozené ztráty kompenzovány. Navíc být vodík udržován v dostatečné čistotě, protože od určité hranice promíchání se vzduchem začíná reagovat se vzdušným kyslíkem, což zapříčiňuje jeho hoření.

Vodík byl jakožto nosný plyn pro balony a vzducholodě používán po velmi dlouhou dobu a v hojné míře, přestože se vědělo o jeho nebezpečné povaze. První, komu se podařilo podniknout úspěšný let v balonu plněném vodíkem, byl Francouz Jacques Charles. Stalo se tak roku 1783, jen pár měsíců po úspěších horkovzdušného balonu bratří Montgolfierů. Vodík se pak jako nosný plyn používal ve většině vzducholodí až do konce 30. let 20. století [11].

3.2.2 Helium

Helium je druhý nejlehčí plyn, jehož atomová hmotnost je 4,002, tedy zhruba čtyřikrát větší než hmotnost atomu vodíku. Na rozdíl od vodíku netvoří dvouatomové molekuly, díky čemuž je pouze dvakrát těžší. Jeho hustota je $0,179 \text{ kg/m}^3$. I přesto má helium teoreticky asi jen o 10 % nižší nosnost než vodík, protože oba tyto plyny jsou stále mnohem lehčí než vzduch [11].

Z provozních důvodů, které plynou z reálných možností využití helia jako nosného plynu, může mít ve výsledku vzducholod' naplněná heliem skoro až o polovinu menší nosnost. S tím souvisí i menší množství paliva, které lze přepravovat, a tedy i kratší dolet [6]. Hlavní, a v podstatě jedinou výhodou helia tak zůstává jeho nehořlavost, díky které se používá i v dnešních vzducholodích.

Helium bylo objeveno již roku 1868, ale první vyztužená vzducholod', která ho použila jako nosný plyn, byla USS Shenandoah, která poprvé vzlétla roku 1923. Helium pro plnění většiny svých vzducholodí používaly v podstatě pouze Spojené státy americké, a to jak jejich armáda, tak i námořnictvo [11]. Jediná využitelná ložiska helia se totiž nacházela pouze v USA a na export helia se od roku 1925 vztahovalo embargo [13]. Navíc bylo v USA již v roce 1922 zakázáno použití vodíku ve vzducholodích s lidskou posádkou [14,15].

3.2.3 Svítiplyn

Svítiplyn je technický plyn tvořený směsí vodíku, oxidu uhelnatého, ethylenu a dalších plynů. Používal se pro svícení, výrobu tepla a později k pohonu motorových vozidel [16]. Jeho hustota se pohybuje kolem $0,58 \text{ kg/m}^3$ [17]. Jeden metr krychlový svítiplynu je tedy teoreticky schopný unést asi 0,63 kilogramu [18].

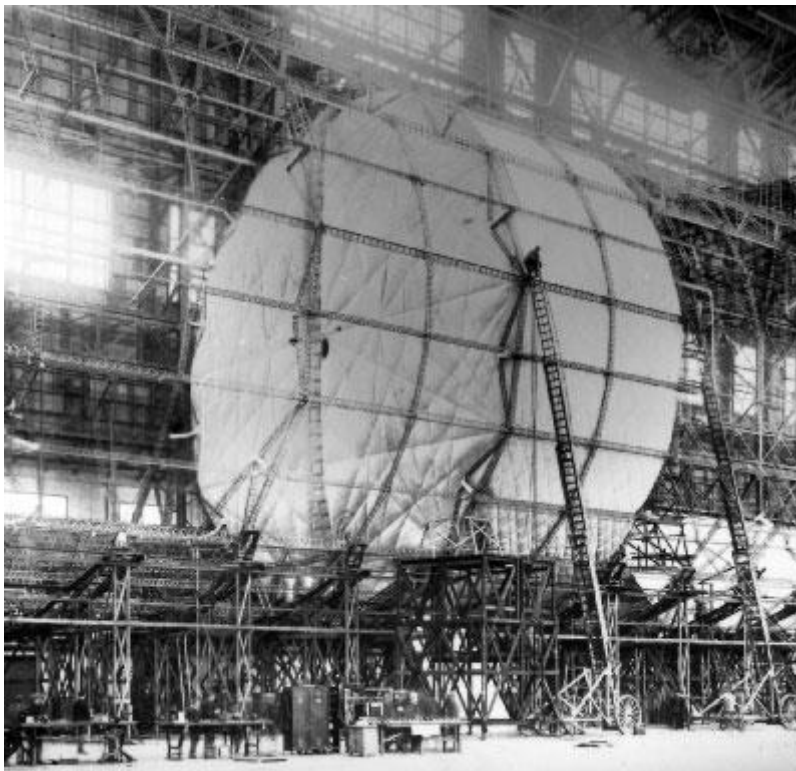
Svítiplyn byl od 19. století zdrojem světla pro pouliční osvětlení a ve větších městech byl rozváděn přímo do domácností. Výhodou kompenzující malou nosnost tedy byla jeho snadná dostupnost. Kromě toho, že mohl sloužit jako nosný plyn, mohl být svítiplyn samozřejmě použit i jako palivo. Toho ve své vzducholodi využil např. německý konstruktér Paul Haenlein, který provedl úspěšný let nad Brnem již v roce 1872 [19].

3.3 Plynové oddíly

Plynové oddíly byly rozmístěny po celé délce vzducholodi, přičemž každý oddíl byl vždy uzavřen mezi dvěma hlavními prstenci. Jejich materiál musel být maximálně plynotěsný, zároveň však lehký a odolný proti roztržení.

3.3.1 Tkanina potažená pryží

V prvních zeppelínech byly používány bavlněné a lněné tkaniny potažené kaučukem nebo gutaperčou. Vzácně se používalo i hedvábí, které poskytovalo lepší těsnění, ale také za výrazně vyšší cenu. Tyto plynové oddíly byly citlivé na denní světlo a vysoké teploty, protože pryž, kterou byla tkanina potažena, měla sklony ke křehnutí, které ovlivňovalo těsnost i pevnost plynových oddílů. Kromě toho hrozilo riziko, že tkanina by mohla vzplanout díky jiskrám vytvořeným statickou elektrinou, a zapálit tak i uvnitř uskladněný vodík. Výhoda tkanin však spočívala v tom, že bylo možné je strojově vyrábět, takže náklady na jejich výrobu byly poměrně nízké.



Obr. 3-1 Instalace plynového oddílu do kostry vzducholodi [11]

3.3.2 Zlatotepecká blána

Pozdější zeppelíny využívaly jako materiál pro plynové oddíly tzv. zlatotepeckou mázdru či zlatotepeckou blánu (něm. Goldschlägerhaut). Ta byla získávána z vnější vrstvy slepého střeva

ovcí, prasat či skotu. Zpočátku se na sebe lepilo sedm a více vrstev, později se počet vrstev zredukoval na čtyři. Po provedení série experimentů bylo docíleno toho, že se plynové oddíly vyráběly ze střídajících se vrstev zlatotepecké blány a vrstev gázy.

Plynové oddíly z tohoto materiálu byly obzvlášť lehké a současně velmi odolné proti roztržení. Také vykazovaly lepší plynotěsnost a lépe odolávaly vnějším vlivům. K jejich výrobě ale bylo potřeba hodně ruční práce, a navíc bylo nákladné zajistit dovoz dostatečného objemu zlatotepecké blány v požadované kvalitě.

Pro výrobu jednoho plynového oddílu bylo zapotřebí materiálu z asi 50 000 zvířat, takže na stavbu celé vzducholodi padlo i několik stovek tisíc kusů hospodářského dobytka [11]. To dokonce vedlo k tomu, že během první světové války bylo na území centrálních mocností zakázáno vyrábět a konzumovat veškeré uzeniny, k jejichž výrobě byla zvířecí střeva potřebná [20,21].

3.3.3 Filmhaut

Ve třicátých letech byla také používána látka německy zvaná Filmhaut (doslova tedy filmová kůže). Jednalo se o bavlněnou tkaninu napuštěnou směsí želatiny a latexu. Experimentovalo se s ní už u Grafu Zeppelin a částečně byla použita také u americké vzducholodi USS Akron [22]. Její sesterská loď USS Macon a také LZ 129 Hindenburg společně s LZ 130 Graf Zeppelin II už používaly plynové oddíly výhradně z tohoto materiálu.

Výroba „Filmhaut“ byla výrazně levnější než u obtížně dostupné zlatotepecké blány. Kromě latexu a želatiny se pro těsnění používala i řada syntetických materiálů, což ještě více usnadňovalo její strojovou výrobu a snižovalo náklady [11].

3.4 Vnější plášť

Vnější plášť vzducholodi plnil množství funkcí. Primárně chránil plynové oddíly a musel tak dobře odolávat větru a vlivům počasí. Zpevňoval také povrch lodi a udržoval její aerodynamický tvar, současně musel být i hladký pro co nejmenší aerodynamický odpor.

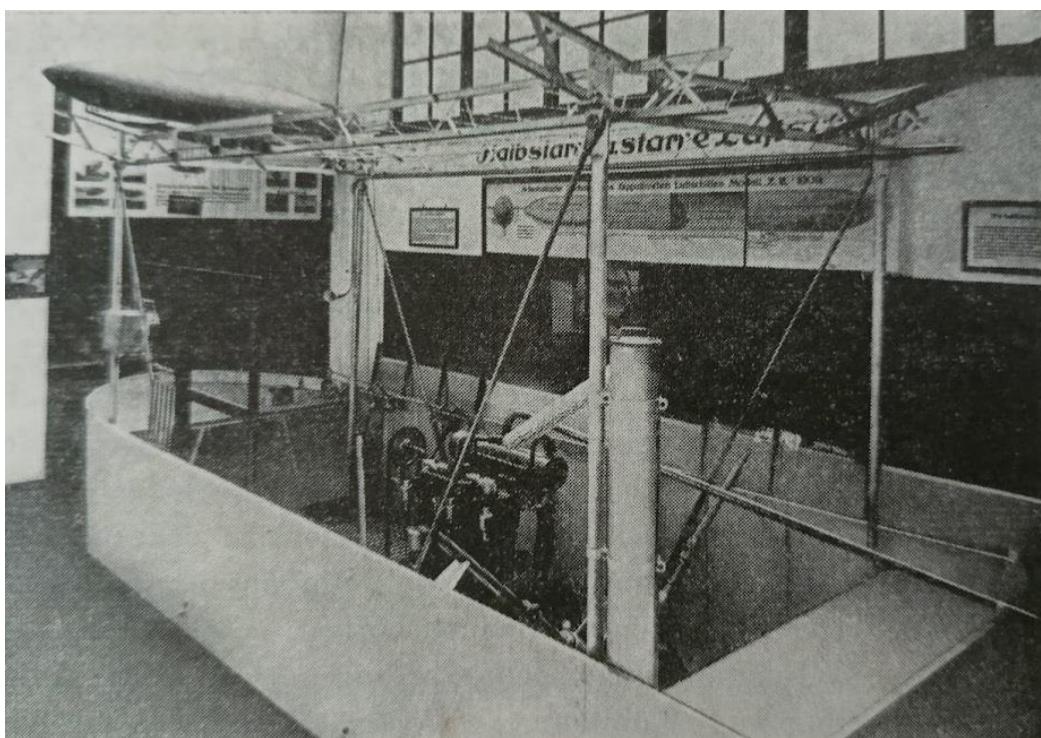
Plášť také musel zajistit pokud možno konstantní teplotu uvnitř tělesa vzducholodi, aby se zabránilo zahřívání nosného plynu a jeho expanzi. To by vedlo k vypuštění nosného plynu přetlakovými ventily a následné ztrátě vztlaku. Pro zajištění ochrany proti UV záření a zahřívání nosného plynu byl potah většiny vzducholodí natírán lakem s přídavkem hliníkového prášku, který dodával vzducholodím výraznou stříbrošedou barvu a skoro až zrcadlový lesk.

Důležitou vlastností potahu byla také vodotěsnost, protože pokud jeho bavlněná či lněná tkanina nasákla vodou, znamenalo to pro vzducholodě několik tun dodatečné zátěže.

Při všech těchto požadavcích musel být plášť zároveň co nejlehčí a levný na výrobu. Nepřetržitý proces jeho zlepšování se proto nezastavil ani po dokončení stavby lodí. O přestávkách v provozu byly dokonce zkoušeny nové nátěry nebo se vyměňovaly celé části pláště [11].

3.5 Pohon

Ačkoliv prvotní myslitelé měli stále živou představu, že vzducholod' může být poháněna vesly, máváním křídel, či dokonce zapřaženými holuby či orly [3], bylo později jasné, že k pohonu nebude stačit lidská ani zvířecí síla, ale bude potřeba použít vrtule poháněné motory. Jak je zmíněno výše, Giffardova vzducholod' dokázala úspěšně využít i parní stroj, zatímco pozdější La France využívala elektromotor. S rozvojem spalovacích motorů na konci 19. století ale bylo rozhodnuto o tom, že právě ony budou optimálním pohonem vzducholodí.



Obr. 3-2 Primitivní gondola LZ 1 se čtyřválcovým motorem Daimler [5]

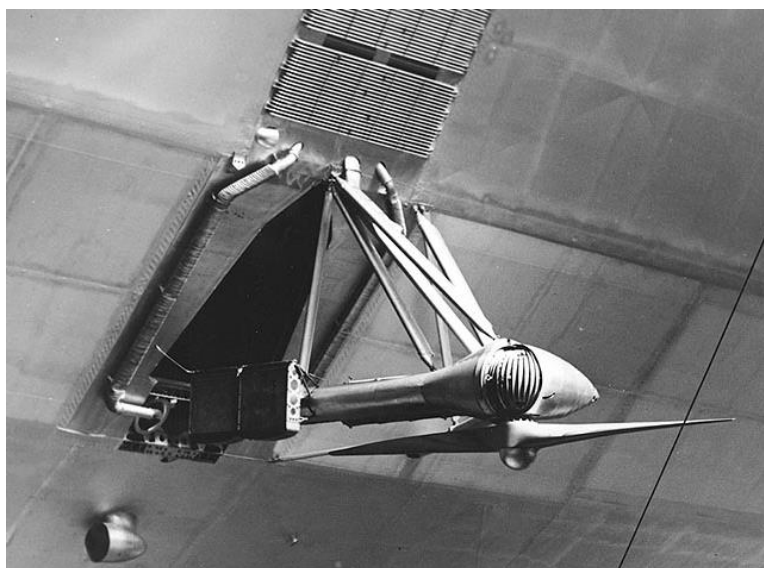
Motory, ve většině případů benzínové, měly v podstatě tři možnosti umístění. První z nich je umístění přímo v gondolách pod balonem vzducholodi. Zprvu byly vrtule po stranách gondoly, což vyžadovalo dlouhé převody, které byly často problematické. Tuto konfiguraci využívaly prvotní zeppelinů (viz obr 3-2), ale později se přešlo k jiné konstrukci. Tu používalo značné množství zeppelinů za 1. sv. války, ale i množství vzducholodí jiných výrobců. Spočívala v tom, že místo dvou vrtulí po stranách měla každá gondola pouze jednu přímo poháněnou vrtuli ve své zadní části. Gondoly takto měly stále funkci řídicí i pohonnou, a bývaly zpravidla dvě.

Druhou možností bylo uložení motorů ve speciálních motorových gondolách (viz obr. 3-3). K řízení vzducholodí tak zbyla pouze jedna gondola na přídi (většinou pouze jako velitelská gondola bez motoru), zatímco ve střední části a na zádi byly umístěny oddělené motorové gondoly. Ty byly podstatně menší – v každé z nich byl pouze jeden motor a prostor pro jednoho, maximálně dva strojníky. Spojení řídicí gondoly s obsluhou motorů bylo zajištěno zpravidla telegraficky. Samotný přístup do motorové gondoly vedl z kýlové chodby po žebříku, případně po lávce.



Obr. 3-3 Motorová gondola LZ 127 při doplňování oleje [23]

Třetí možnost je umístění motorů přímo v tělese vzducholodi. Odtud byly dlouhými převody poháněné venku umístěné vrtule (viz obr. 3-4).



Obr. 3-4 Vrtule vzducholodi USS Akron natočená do svislého směru [22]

Tento způsob používaly například americké vzducholodě Akron a Macon, protože byly plněné heliem a nehrozilo tak jejich vzplanutí. Každá měla 8 motorů, které byly umístěny ve stejné výšce v jedné řadě po čtyřech. Tím se zjednodušila konstrukce kostry a její výroba. Na druhou stranu toto uspořádání znamenalo, že zadní vrtule byly ovlivněny prouděním vzduchu od vrtulí

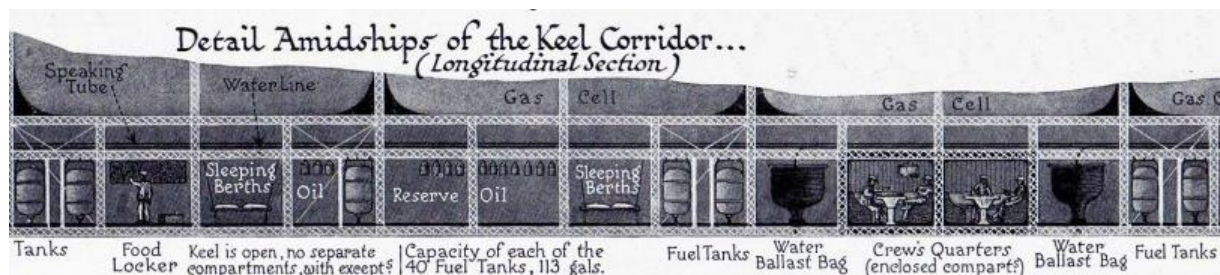
před nimi. Výhodami této konstrukce v porovnání s motorovými gondolami však byly snadnější přístup k motorům, a tedy i jejich snadnější údržba, a snížení celkového aerodynamického odporu. Kromě toho umožňovalo spojení pomocí dlouhých hřídelí s kuželovými převody i natáčení vrtulí, takže vrtule mohly poskytovat tah i ve svislém směru [6].

Kromě motorů a jejich polohy se časem měnil i tvar a materiál vrtulí (viz příloha B).

3.6 Vnitřní uspořádání

Následující odstavce této kapitoly popisují provozně důležité prostory vzducholodí vyhrazené posádce, ale také prostory a zázemí, které bylo k dispozici cestujícím. Tyto prostory se u jednotlivých vzducholodí nacházely uvnitř hlavní gondoly nebo v samotném (kostrou vyztuženém) tělesu vzducholodí.

Na začátek je však potřeba zmínit vnitřní uspořádání kolem kýlové chodby, která byla společným rysem takřka všech vyspělých vyztužených i poloztužených vzducholodí. Kýlová chodba se u vyztužených vzducholodí nacházela v dolní části kostry přímo uvnitř pláště, zatímco u poloztužených vzducholodí v podstatě představovala jedinou část kostry, a byla umístěna separátně od balonu, jenž byl nad ní (viz příloha C). Kýlová chodba procházela celou délkou vzducholodí a její lávka bývala široká asi jen čtvrt metru.



Obr. 3-5 Nákres kýlové chodby vzducholodí USS Shenandoah [6]

Jak je patrné z obrázku 3-5, kolem kýlové chodby se nacházely veškeré nádrže a veškerý náklad, který nebylo možné uložit do gondol či jiných vnitřních prostorů. Uloženy zde byly nádrže s palivem, olejem i balastní vodou. Kromě toho byly kolem úzké chodby rozmístěny i prostory pro posádku zahrnující postele, malé opravárenské stanice a také malé jídelny. Kontakt mezi řídicí gondolou a posádkou v kýlové chodbě býval zajištěn poněkud archaickým způsobem, kovovou mluvící trubicí (či hlasovou trubkou). Až u nejvyspělejších vzducholodí k těmto účelům sloužil telefon.

3.6.1 LZ 126

První vzducholodí, která disponovala alespoň lůžkovými prostory pro cestující, byla LZ 126, známá též jako ZR-3 či USS Los Angeles. Jednalo se o klasický zeppelin vyrobený ve Friedrichshafenu v roce 1924 speciálně pro USA v rámci poválečných reparací. Američané ho po převzetí označili jako ZR-3 (zkr. pro Zeppelin-Rigid), což značí třetí vyztuženou vzducholod' objednanou americkým námořnictvem, kde pak sloužila pod jménem USS Los Angeles. Kvůli Versailleské smlouvě ji ale Němci museli vyrobit jako civilní stroj nesoucí označení LZ 126, které tradičně navazovalo na dříve vyrobené zeppelinů.

LZ 126 byla zkonstruována tak, aby mohla kromě třicetičlenné posádky přepravovat také až třicet pasažérů. Pro ty byly ve střední části hlavní gondoly zařízeny prostory podobné vlakovým kupé. V každém z pěti „kupé“ naproti sobě stály dvě pohovky. Ty bylo možné rozložit a vytvořit tak zázemí, kde by mohlo teoreticky přespat kolem dvaceti cestujících. Jednalo se tedy spíš o jakousi improvizovanou obdobu lůžkového vozu než o nějaké luxusní ubytování.



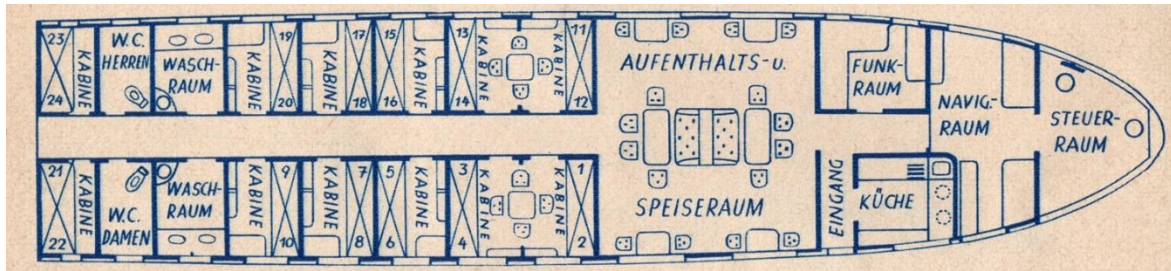
Obr. 3-6 Prostory pro cestující ve vzducholodi LZ 126 [6]

V zadní části gondoly se také nacházely dvoje toalety a malá kuchyňka, ve které bylo teoreticky možné připravovat teplé pokrmy. Ačkoliv LZ 126 sloužila výhradně americkému námořnictvu, takže civilní pasažéry přes oceán nikdy nepřepavila, její úspěšný přelet Atlantiku vyvolal velkou senzaci a byl vnímán jako počátek nového vývoje politických styků mezi Německem a USA, který dopomohl k tomu, aby mohly být postaveny nové zeppelinové, které měly později létat na pravidelných linkách mezi těmito dvěma zeměmi.

3.6.2 Graf Zeppelin

Graf Zeppelin disponoval kromě pěti motorových gondol především hlavní gondolou umístěnou na přídi lodi. Gondola byla 30 m dlouhá a 6 m široká. Veškeré vnitřní prostory pro cestující se nacházely přímo v této gondole. Gondola byla průchozí v celé své délce, ale lze ji pomyslně rozdělit na tři oddělené části. Přední část gondoly byla vyhrazena posádce, střední část tvořily společné prostory a v zadní části byly prostory pro cestující.

Na samé přídi aerodynamicky tvarované gondoly byla řídicí místnost s velkými okny vybavená veškerými ovládacími prvky vzducholodi. Byla zde tedy kola k ovládnutí směrového i výškového kormidla, společně s ovládacími prvky k upouštění plynu či vypouštění vodní zátěže. Součástí řídicí místnosti byl také telegraf umožňující spojení s motorovými gondolami a samozřejmě také výškoměr a lodní kompas. Za řídicí místností se nacházela navigační místnost následovaná rádiovou stanicí a kuchyní. [6]



Obr. 3-7 Vnitřní uspořádání gondoly LZ 127 [6]

V radiové stanici mohli současně pracovat až tři radiotelegrafisté, kteří byli většinu času zaměstnáni komunikací s pozemními meteorologickými stanicemi či kolem proplouvajícími parníky. Kromě přijímání zpráv o povětrnostní situaci vyřizovali radiotelegrafisté ve volnějším chvílích také soukromou korespondenci mezi osazenstvem vzducholodi a lidí na pevnině. Problémem ovšem bylo, že zprávy, které přicházely na palubu, nebylo možné nijak uspořádat či filtrovat. Při prvním letu LZ 127 do Ameriky se tak stávalo, že v blízkosti velkých vysílačů byla lodní radiostanice zahlcena blahopřejnými telegramy. Všechny přístroje tak byly přetíženy desítkami až stovkami přicházejících zpráv, na úkor čehož nebylo možné dostat povětrnostní zprávy ani odeslat z lodi jakoukoliv větší zprávu. Paradoxně tak byla LZ 127 v okruhu velkých vysílačů zcela odříznuta od jakékoli provozně důležité komunikace [6].

V navigační místnosti byly zpracovávány informace z povětrnostních zpráv, na základě kterých byly kresleny povětrnostní mapy a podle nich pak byla plánována trasa vzducholodi. Úkolem navigátorů bylo také zjišťování přesné polohy lodi pomocí výsledků měření rychlosti, směru větru a cestovní rychlosti. Při dobré viditelnosti byly k navigaci používány sextanty. Naopak při špatné viditelnosti a silných větrech byla často zeměpisná poloha vzducholodi zjišťována na základě zpráv z pozemních vysílacích stanic či kolem proplouvajících parníků [24].



Obr. 3-8 Navigační místnost s žebříkem ústícím do kýlové chodby [6]

V malé kuchyňce umístěné naproti radiové místnosti bylo možné připravovat teplé pokrmy, přičemž každý den bylo servírováno pět jídel. Protože loď byla nadnášena hořlavým vodíkem,

byly veškeré kuchyňské spotřebiče elektrické. Ty zahrnovaly elektrické plotny, trouby, ohřívač na vodu a chladničku. Voda použitá na vaření či mytí nádobí byla následně přečerpávána do nádrží s balastní vodou, díky níž vzducholod' regulovala výšku letu (viz kapitola 5.1). Nádrže LZ 127 mohly pojmout až 8 tun vody. V záloze byly ještě nádrže schopné pojmout dalších 2,4 tun a právě voda na pití, vaření a mytí, které bylo v zásobě celkem 1,6 tuny.

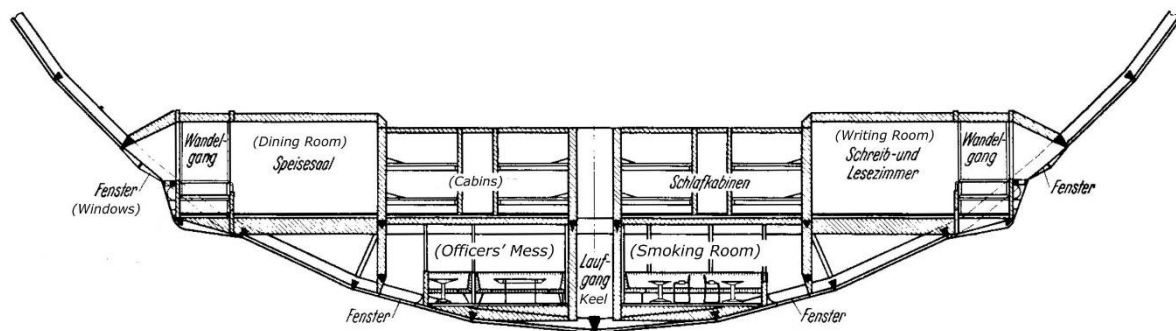
Přední část gondoly, která byla vyhrazena posádce, a zadní část gondoly, od sebe oddělovala jídelna, ve které byly servírovány pokrmy z kuchyně, a která současně sloužila jako salónek [6]. Cestující zde trávili většinu svého času, a protože se jednalo o společný prostor, mohli zde komunikovat s jednotlivými členy posádky či samotným kapitánem Eckenerem.

V zadní části gondoly přecházela jídelna do úzké chodby, po jejíž stranách se nacházelo 10 pokojů, ve kterých mohlo být ubytováno až 20 pasažérů. Těm zde byly k dispozici dvoupatrové postele, které mohly být přes den složeny do podoby sedačky. Na konci chodby se nacházely oddělené toalety pro muže a ženy, stejně tak jako dvě umývárny. V umývárnách, zařízených pro dvě osoby, bylo možné se mýt teplou vodou. Ta byla také následně přečerpávána do balastních nádrží.

Ačkoliv interiér vzducholodi byl luxusně vybaven, neexistovala zde žádná možnost regulace teploty. Při letu nad severním Atlantikem tak cestující často museli být navlečení v zimních kabátech, kožších a rukavicích. Naopak při cestách do Jižní Ameriky zde zase panovalo citelné horko. Kromě toho mohli cestující po celou dobu letu slyšet hluk motorů, strojů vyrábějících elektřinu a také řinčení kormidlových řetězů, které byly vedené kolem jejich pokojů [6,24].

3.6.3 Hindenburg

Prostory pro cestující nebyly u Hindenburgu na rozdíl od dřívějších zeppelinů v gondole, ale byly umístěné přímo v trupu vzducholodě, přesněji řečeno asi v první čtvrtině její délky. Byly tvořeny dvěma palubami – horní palubou A a dolní palubou B, které byly spojené schodištěm.

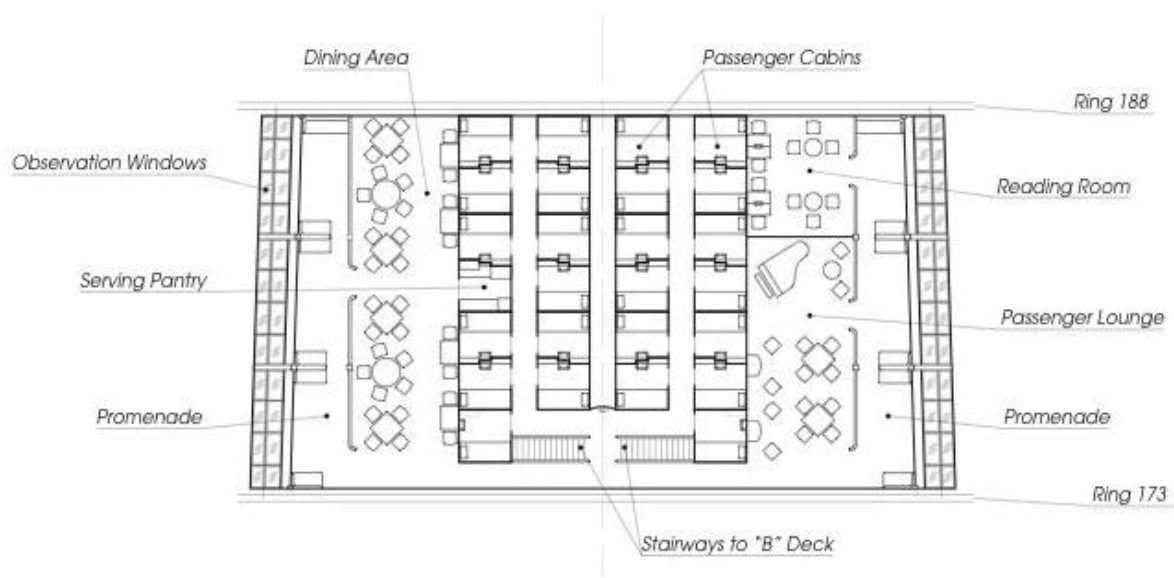


Obr. 3-9 Příčný řez Hindenburgem [6]

Prostředek paluby A tvořilo 25 dvoulůžkových kajut. Prostory kajut od sebe oddělovaly levobok, kde byla jídelna, a pravobok, tvořený společenskými prostory. Jídelna na levoboku byla přibližně 14 metrů dlouhá a 4 metry široká a byly v ní hliníkové stoly a červeně čalouněné hliníkové židle. Prostory na pravoboku byly stejně rozměrné a byly vybaveny i stejným nábytkem, pouze s tím rozdílem, že židle zde byly čalouněny hnědou látkou. Společenské prostory byly rozděleny na salónek a malou místnost vyhrazenou pro čtení a psaní. Ta byla od salóнку oddělena přepážkou a nacházela se v zadní části společenské místnosti. Během první

sezony provozu Hindenburgu (rok 1936) byl v salónku i speciálně vyrobený odlehčený duralový klavír o hmotnosti 161 kg. Před další sezonou však byl klavír odstraněn, takže při nehodě roku 1937 nebyl na palubě.

Kajuty pro cestující byly v podstatě podobné těm na Grafu Zeppelin. Každá kajuta o rozměrech asi 1,7 m × 2 m měla jedno pevné spodní lůžko, a jedno horní lůžko, které bylo přes den možné přiklopit ke stěně. Dveře i stěny kajut byly vyrobeny z lehké pěny potažené tenkou látkou tří možných barev – světle modrou, šedou či béžovou. V kajutě byl také malý skládací stůl, výklopné umělohmotné umyvadlo s teplou i studenou vodou, malá šatní skříň krytá závěsem a tlačítko pro přivolání stevarda. Toalety a sprchy však byly společné a nacházely se na palubě B. Na rozdíl od Grafu Zeppelin neměly pokoje žádná okna. Na obou stranách paluby A však byly promenády s velkými okny, z nichž některá se dala i otevřít. Promenády byly od ostatních společenských prostor odděleny pouze zábradlím.

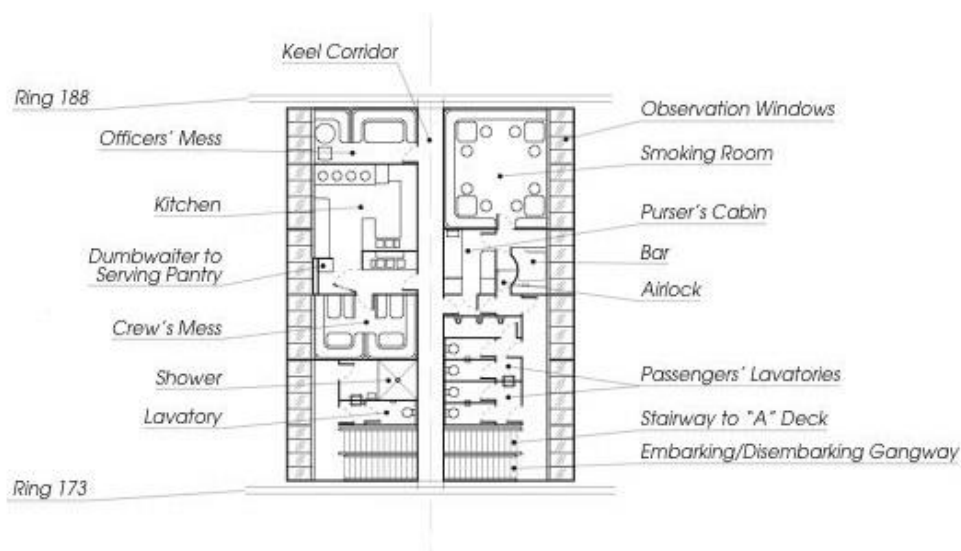


Obr. 3-10 Paluba A (horní paluba) [25]



Obr. 3-11 Salonek na palubě A [6]

Na palubě B se nacházela lodní kuchyně, jídelna pro posádku a důstojníky, kajuta vrchního stevarda, ale také toalety a sprcha pro cestující. Po první sezoně sem bylo přidáno i dalších 9 kajut, čímž se zvýšil možný počet cestujících z původních 50 na 70. Tyto kajuty byly o něco větší než ty na palubě A, a byly opatřeny i okny.



Obr. 3-12 Paluba B (dolní paluba) [25]

Ačkoliv byl Hindenburg naplněn vodíkem, byla na jeho palubě B i kuřárna. Aby se do ní nemohl dostat žádný unikající vodík, byl v ní udržován vyšší tlak. Navíc byla kuřárna od zbytku lodi izolována vzduchovou propustí, tedy komorou opatřenou dvojicí dveří, které nemohly být otevřeny zaráz. Před kuřárnou byla také malá předsíňka, která sloužila jako bar. Kromě přípravy

drinků a prodeje kuřiva měl barman na starost především kontrolu toho, že žádný pasažér neodejde z kuřárny se zapálenou cigaretou, dýmkou či doutníkem. Podél vnější strany kuřárny bylo také zábradlí, za kterým byla horizontální utěsněná okna umožňující přímý výhled dolů na oceán [6,26].



Obr. 3-13 Lodní kuchyně vzducholodi Hindenburg [6]

3.7 Výroba

Zeppelinly byly vyráběny ve firmě Luftschiffbau Zeppelin ve městě Friedrichshafen na německém pobřeží Bodamského jezera. Součástí závodu byly kromě dílen, zkušeben a konstrukčních kanceláří především tzv. velká hala, kde byly vzducholodě sestavovány dohromady, a oddělená hala pro kompletování dílčích prstenců kostry.

Následující odstavce popisují výrobu posledního zeppelinu vyrobeného v meziválečném období. Jednalo se o sesterskou loď slavného Hindenburgu, která nesla označení LZ 130 a známá byla také jako Graf Zeppelin II. Princip výroby všech vyztužených vzducholodí byl velmi podobný. Odhlédneme-li tedy od rozdílů v použitých materiálech, od konkrétních čísel a rozměrů, lze tento popis výroby vztáhnout v podstatě ke kterékoliv vyztužené vzducholodi.

3.7.1 Výroba kostry

Základním prvkem celé obrovské duralové kostry vzducholodi byla poměrně malá vzpěra. Tyto vzpěry byly lisovány z plechových pásků o rozměrech 30×4 cm. V každém pásku bylo pro úsporu hmotnosti a současném zachování pevnosti vystřiženo 7 děr. Takovýchto vzpěr bylo nutno pro celou loď vyrobit asi 400 000 kusů, přičemž každý jednotlivý kus byl zhotoven zvlášť na lisu s manuální obsluhou.

Dalším prvkem byly 5 m dlouhé profilované pruty, do kterých byly dle šablony vyvrtány díry pro nýty. Tyto pruty byly po třech spojovány zmíněnými menšími vzpěrami do trojúhelníkových nosníků. Ty navzdory hmotnosti kolem 2,4 kg poskytovaly výbornou tuhost a stabilitu. Každý jednotlivý nosník byl v rámci kontroly výroby zvážen. Pokud by se seřadily veškeré trojúhelníkové nosníky za sebe, byla by jejich celková délka 22 km.



Obr. 3-14 Nýtovaná konstrukce kostry z trojúhelníkových duralových nosníků [27]

Nosníky, nýty a veškerý další materiál potřebný k sestavení kostry se shromažďoval ve zvláštní montážní hale. Na její podlahu byly poté nakresleny kružnice s poloměrem 21 m, na základě kterých byla vytvořena jakási forma, do níž se trojúhelníkové nosníky pečlivě seskládaly a spojily do podoby kruhové obruče (respektive šestatřicetiúhelníku). Pro dosažení kruhového tvaru bylo nutné konce nosníků ručně upilovat. Podélným spojením dvou těchto obručí dalšími nosníky vznikl základní díl kostry vzducholodi – prstenec s průměrem 41,2 m. Vzducholod' sestávala celkem z 15 hlavních a 35 pomocných prstenců. Hlavní prstence byly v této hale také opatřeny drátěným výpletem. Předepnutí každého drátu bylo podobně jako hmotnost nosníků také přísně kontrolováno.

Hotový prstenec byl poté přivázán na transportní kruhový rám a následně několika dělníky odtažen za provazy po kolejkách do tzv. velké haly o výšce 60 m a délce 250 m. Tam byl nakloněn a vyzdvižen elektrickými navijáky a následně připevněn ke stávající konstrukci. Speciální pracovníci zde pracovali ve výškách dosahujících 50 m nad zemí. Lezli po montážním lešení a často i samotné kostře vzducholodi jištění pouze provazem připevněným k pasu. Montáž celé lodí v podstatě probíhala pouze s pomocí ručních pilek, pilníků, elektrických vrtaček a nýtovacích kleští. Na stavbu tehdy nejmodernější vzducholodi přitom bylo potřeba kolem 8 milionů nýtů.

Díl tvořící příď lodí vznikal celé týdny. Rázové síly, kterým musela příď při kotvení (viz kapitola 5.3.1) odolávat, totiž odpovídaly hmotnostnímu tlaku 21 tun, a tak bylo potřeba dbát na velkou pečlivost při sestavování její složité konstrukce. V prvních dnech příďový díl (tzv. kotevní kužel) připomínal obří deštník. Asi po šesti týdnech získal svůj konečný tvar a byl připraven na připojení k trupu lodí.

Zád', na kterou byly napojené stabilizační plochy, byla také obzvlášť namáhanou částí kostry. Proto byla tvořena třemi prstenci vyztuženými vnitřní křížovou konstrukcí. Na poslední prstenec pak už navazovala jen 300 kilogramová konstrukce tvořící špičatou zád' lodí.

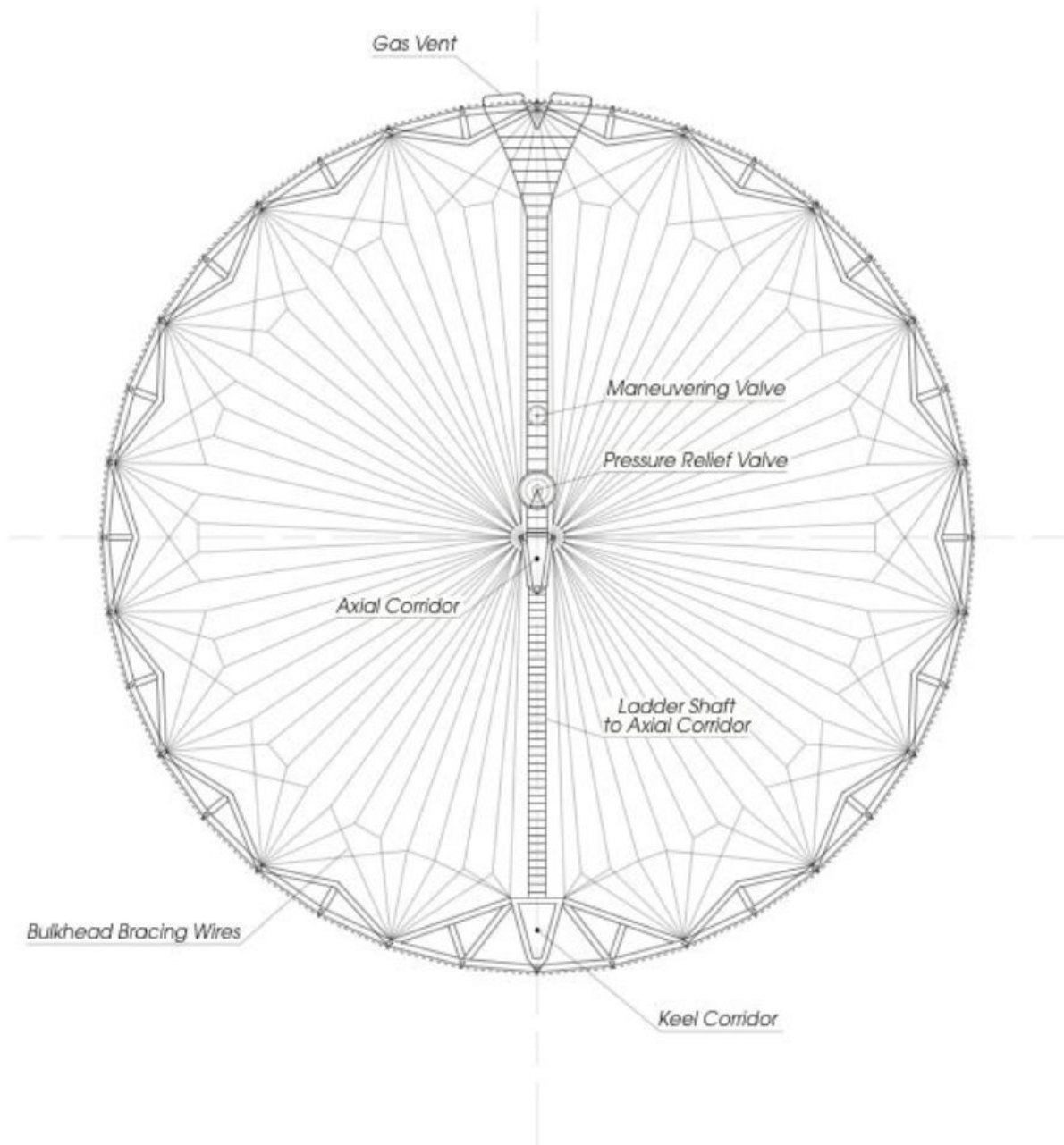
3.7.2 Potahování a dokončovací práce

Před konečným potahováním byla duralová kostra opatřena ochranným lakem, který ji chránil před korozi způsobenou hlavně přítomností slané vody nad oceánem. Trupem lodí bylo také ve svislém směru protaženo 7 ventilačních šachet. Ty procházely od pláště na horním povrchu až ke kýlové chodbě na samém spodku konstrukce. Tři z nich zůstaly průchozí pro posádku v celé výšce lodí. Byly napojené také na hlavní vnitřní chodbu, která procházela těsně pod podélnou osou lodí (viz obr. 3-15 či příloha A).

Kostra LZ 130 byla potažena celkem 27 000 m² bavlněné látky, kterou dělníci po jednotlivých kusech ručně přivazovali na vnější nosníky. Očka a šněrování byla poté překryta lepíci pásky, které je chránily před poškozením. Zároveň se tak předešlo narušení aerodynamiky a celý plášť se utěsnil. Takto vzniklý plášť byl ještě opatřen trojitým nátěrem, který chránil loď před vlivy počasí a také částečně zamezoval úniku nosného plynu skrz póry v látce pláště.

Mezi jednotlivými duralovými prstenci byly napínány sítě zajišťující izolaci plynových oddílů od pláště vzducholodi a zároveň rovnoměrné rozložení tlaku nosného plynu na kostru. Celková délka šňůr tvořících tyto sítě byla 160 km.

Aerostatický vztlak LZ 130 zajišťovalo celkem 16 plynových oddílů. Plynové oddíly byly dlouhé 15 m a byly uloženy vždy mezi dvěma hlavními prstenci. Jejich tkanina (u LZ 130 byla použita už pouze Filmhaut) byla úmyslně zhotovena se speciálními záhyby, což zaručovalo, že po naplnění zaujmou automaticky správný tvar, a naopak ve vyfouknutém stavu záhyby zabráňovaly nežádoucím pohybům a namáhání tkaniny. Plynové oddíly mohly pojmout až 200 000 m³ vodíku, jenž mohl být upouštěn 14 manévrovacími a 14 přetlakovými ventily (dva přední a dva zadní plynové vaky byly vzájemně propojeny) [28,29].



Obr. 3-15 Jeden z prstenců LZ 130 opatřený drátěným výpletem a průchozí šachtou [25]

4 Využití

4.1 Zeppelin v 1. světové válce

Před vypuknutím 1. sv. války bylo postaveno celkem 25 zeppelinů. Z toho 15 kusů bylo odkoupeno německou armádou a námořnictvem. Na začátku války však kvůli různým nehodám či zastarání bylo k dispozici jen devět kusů. Kromě nich byly pro vojenské účely zabaveny i tři doposud sloužící zeppelinové firmy DELAG. Celkem tak Německo disponovalo na začátku války dvanácti vyztuženými vzducholoděmi Zeppelinovy výroby. Do konce války pak bylo postaveno dalších 87 zeppelinů, z nichž většina byla přidělena námořnictvu [7]. Zeppelinové provedly za celou dobu trvání války celkem 325 náletů, 1205 průzkumných letů a 2984 jiných letů [5].

4.1.1 Bojové mise

Zpočátku zeppelinové plnily jen zpravodajské mise. Prováděly průzkum nepřátelského území a sledovaly pohyby jeho vojsk. Velký význam měly také na moři, kde pátraly po nepřátelském loďstvu, hlídkovaly nad minovými poli a ničily ponorky. Kromě toho také podnikaly záchranné mise nebo poskytovaly podporu spojeneckým minolovkám či ostatním lodím v Severním moři. Již v srpnu 1914 byly zeppelinové použity k bombardování nepřátelských měst, i když zprvu jen pomocí dělostřeleckých granátů shazovaných z paluby.

Díky svému dlouhému doletu a velké nosnosti byly zeppelinové přímo předurčeny pro plnění funkce dálkových bombardérů. Již v lednu 1915 uskutečnily první nálety na britské ostrovy. V počátcích si mohly dovolit podnikat nálety i za denního světla, protože bombardovaná města Dohody nedisponovala efektivním systémem protivzdušné obrany. Později ale musely být mise plánovány tak, aby se vzducholodě nad nepřátelským územím pohybovaly pokud možno jen v noci. Kvůli tomu se však podstatně snížila přesnost náletů. Vzhledem k tehdejšímu stupni vývoje navigační a zaměřovací techniky se tak nezdálo, že posádka vzducholodě se dozvěděla až z novin, které britské město ve skutečnosti bombardovala.

Ačkoliv zeppelinové byly naplněné vysoce hořlavým vodíkem, jejich sestřelení nebylo tak jednoduché, jak by se mohlo zdát. Při zásahu běžnými střelami docházelo pouze k tomu, že byly prodávány plynové oddíly. Vzhledem k jejich obrovskému objemu a relativně malé velikosti otvorů způsobených projektily však trvalo velmi dlouho, než vzducholodě ztratila tolik nosného plynu, aby nemohla dále letět. Z toho důvodu byly britské stíhací letouny postupně vybavovány speciálně vyvinutou trhovou a zápalnou municí. I přesto museli stíhači ze svých kulometů často vystřílet několik zásobníků, než se vzducholodě vznítila a spadla v plamenech k zemi [8].

4.1.2 Výzbroj a vybavení zeppelinů

Válečné zeppelinové byly upraveny tak, aby mohly co nejefektivněji útočit, ale také se aktivně bránit nepřátelským stíhačům. Podle daného typu a v závislosti na dané misi mohly nést explozivní a zápalné bomby o hmotnosti až pěti tun. Pro větší přesnost bombardování a současně pro bezpečí vzducholodě byly vyvinuty tzv. pozorovatelské gondoly. Ty mohly být spouštěny ze vzducholodě na ocelovém laně o délce až 800 metrů. V gondole býval pouze jeden člen posádky, který díky telefonnímu kabelu komunikoval s velitelskou gondolou. Nejdříve byly shazovány malé bomby a podle nich pak pozorovatel naváděl větší pumy. Celá

vzducholod' přitom zůstávala ukrytá v mracích, takže nebyla viditelná ze země a často ani ze samotné pozorovatelské gondoly.

Aby byly zeppelininy chráněny před nepřátelskými pozorovateli a protivzdušnou obranou, bývala jejich spodní strana opatřena černým nátěrem, který jim v noci zaručoval alespoň vizuální kamufláž. Aktivní obranu zaručovaly kulomety montované do gondol pod balonem vzducholodi. Kromě toho disponovaly některé zeppelininy i kulometnými plošinami na horní ploše balonu. Nejlepší obranou však vždy zůstávalo vystoupení do bezpečné výšky. Tím se vzducholodě dostaly mimo dosah zbraní protivzdušné obrany i mimo operační výšku stíhacích letounů. Od určité výšky navíc ani nebylo možné zaslechnout ze země zvuk motorů, což zeppelinům umožňovalo dostávat se nad nepřátelské území bez rizika prozrazení.



Obr. 4-1 Kulometná plošina vojenského zeppelinu [30]

4.1.3 Posádky a jejich vybavení

Většina posádek zeppelinů byla tvořena dobrovolníky z řad námořnictva. Jednalo se v podstatě o elitní jednotky se speciálním výcvikem a výbornou fyzickou přípravou, která byla pro dlouhé lety v řídkém a mrazivém vzduchu nutností. I přes velmi náročné podmínky a extrémní nebezpečí, jimž byli námořníci vystavováni, si posádky vzducholodí po celou válku udržovaly velmi dobrou morálku.

Kromě množství teplého oblečení, rukavic a brýlí, které je chránily před teplotami hluboko pod bodem mrazu, byli vybaveni i termolahvemi a kyslíkovými maskami. Kyslíkové masky však v té době nebyly zcela spolehlivé. Létání ve velkých výškách, které mnohdy představovalo jedinou spolehlivou obranu vzducholodí před nepřáteli, tak občas bylo značně riskantní. Výškový rekord přitom zlomil zeppelin s armádním označením L 55, když se z původních 3 km dostal až do výšky 7,5 km [8], kde teplota vzduchu klesá pod $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a jeho hustota není ve srovnání s hustotou u země ani poloviční [31]. Speciálně pro posádky vzducholodí byly vyvinuty záchranné vesty, které se nafukovaly až ve vodě. Prostory uvnitř gondol byly totiž natolik stísněné, že by se do nich námořníci (už tak navlečení v mnoha vrstvách oblečení)

s nafouknutými vestami nevešli. Ačkoliv měly posádky možnost používat i padáky, námořníci je z hrdosti odmítali. Uvědomovali si hodnotu svých obrovských strojů, jak z hlediska výrobních nákladů, tak z hlediska vojenské technologie, a vždy se snažili dostat vzducholod' do bezpečí. Pokud bylo nutné nouzově přistát na území nepřítele, měly posádky za úkol zničit tajné dokumenty i celou vzducholod' [8].

4.1.4 Základny

Hlavní a největší základnou německých námořních vzducholodí byl Nordholz v Dolním Sasku. Tato základna disponovala pěti statickými hangáry, a navíc zde byl i otočný hangár schopný pojmout hned dvě vzducholodě, který se mohl během hodiny otočit na kolejích o 360°. Hangáry nesly jména Nobel, Normann, Nora, Norbert, Nogat a Nordstern. Celkový pozemní personál zde čítal kolem 1500 mužů. Při návratu vzducholodí z bojových misí bylo na každé ze tří přistávacích ploch základny Nordholz přichystáno 350 mužů, kteří pomocí provazů pomáhali vzducholodím přistát.

Kromě hangárů zde byly i kotvící stožáry, plynojem, výroba plynu s vysokým komínem a vysílací stanice s vysokými anténami. Veškeré toto vybavení základny přitom představovalo pro vzducholodě při špatné viditelnosti potenciální nebezpečí. Ve válce bylo nutné počítat i s tím, že vzducholodě se budou vracet poškozené, s nefunkčním rádiem, nedostatkem paliva, ve tmě, v mlze a podobně. Kromě nemožnosti se se základnou spojit ji posádky v těchto obtížných podmínkách také vůbec nemusely být schopné najít. Proto byl vypouštěn balon se signalistou a signálním poddůstojníkem, kteří vzducholodě naváděli Morseovými signály. Za normálních okolností stačilo pro úspěšné přiblížení a přistání vzducholodi použít rádio a následně ji navigovat pomocí vizuálních znamení [8].

4.2 Ostatní vojenské vzducholodě

Ačkoliv zeppelinů nebyly jedinými vzducholoděmi nasazenými v první světové válce, jejich početnost a význam byly – ostatně jako už před válkou – jednoznačně největší. Ozbrojené síly Centrálních mocností využívaly i vyztužené vzducholodě S.L.2 až S.L.22 firmy Schütte-Lanz, i když ne všechny z nich byly uvedeny do provozu. Kromě toho bylo využito například i několik neztužených vzducholodí s označením PL navržených Augustem von Parseval a jedna poloztužená vzducholod' Groß-Basenachovy konstrukce s označením M IV [8,32,33].

Na straně Dohody také sloužilo množství vzducholodí, ale ty byly většinou neztužené. Navíc nebylo v ostatních zemích do jejich vývoje vloženo takové množství finančních prostředků a úsilí jako v Německu. Vzducholodě měly poměrně malý dolet, byly pomalé, často nevyzbrojené, a celkově se příliš nehodily pro válečné využití. Jejich výkony a význam tak byly v porovnání se zeppelinů v podstatě zanedbatelné [34,35].

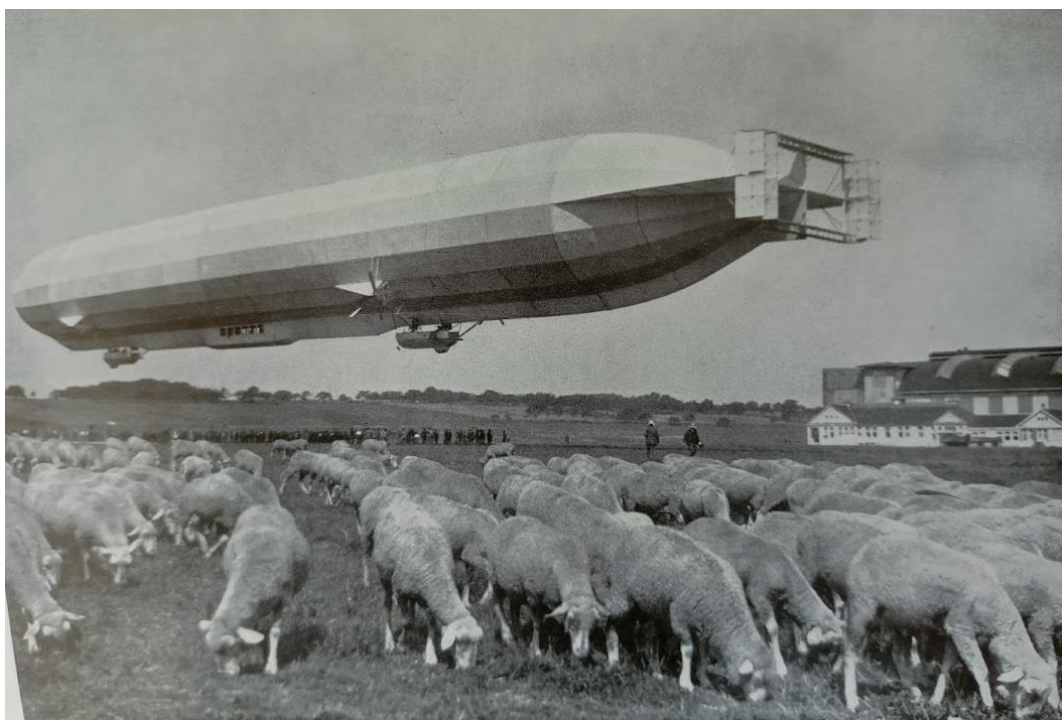
Z hlediska průzkumu či boje s ponorkami se ale vzducholodě neztužené konstrukce ukázaly být velmi efektivní. Především ve velké Británii a USA byly neztužené vzducholodě dále rozvíjeny a byly úspěšně používány i ve druhé světové válce [35].

4.3 DELAG

Společnost DELAG (Deutsche Luftschiffahrts-Aktiengesellschaft) provozovala vzducholodní osobní dopravu a také přepravu pošty již od roku 1909. Pro její potřeby byly v letech 1910-1914 budovány po Německu různými společnostmi hangáry (v roce 1913 dokonce vznikla samostatná firma Zeppelin-Hallenbau GmbH). Následně byla vytvořena síť leteckého provozu mezi významnými německými městy Düsseldorf, Drážďany, Berlín, Frankfurt nad Mohanem, Hamburk, Lipsko, Gotha a Baden-Baden [5].

DELAG před první světovou válkou postupně provozoval celkem 7 zeppelinů; LZ 6, LZ 7 Deutschland, její náhradu LZ 8 Ersatz Deutschland, LZ 10 Schwaben, LZ 11 Viktoria Luise, LZ 13 Hansa a LZ 17 Sachsen. Ačkoliv se tehdy ještě nejednalo o pravidelnou dopravu, dokázaly tyto stroje ještě do vypuknutí první světové války přepravit při více než 1500 letech na 34 000 cestujících. Celkově přitom nalétaly kolem 150 000 km za 3200 letových hodin.

Kromě toho, že DELAG byla celosvětově první leteckou přepravní společností, měla zásluhu i v oblasti meteorologie a letecké pošty. Byl kvůli ní totiž zřízen systém meteorologických stanic po celém Německu, který brzy nato zaznamenal celosvětovou expanzi, a také byla zřízena letecká pošta, která měla speciální úřady přímo na palubách zeppelinů [5,6].

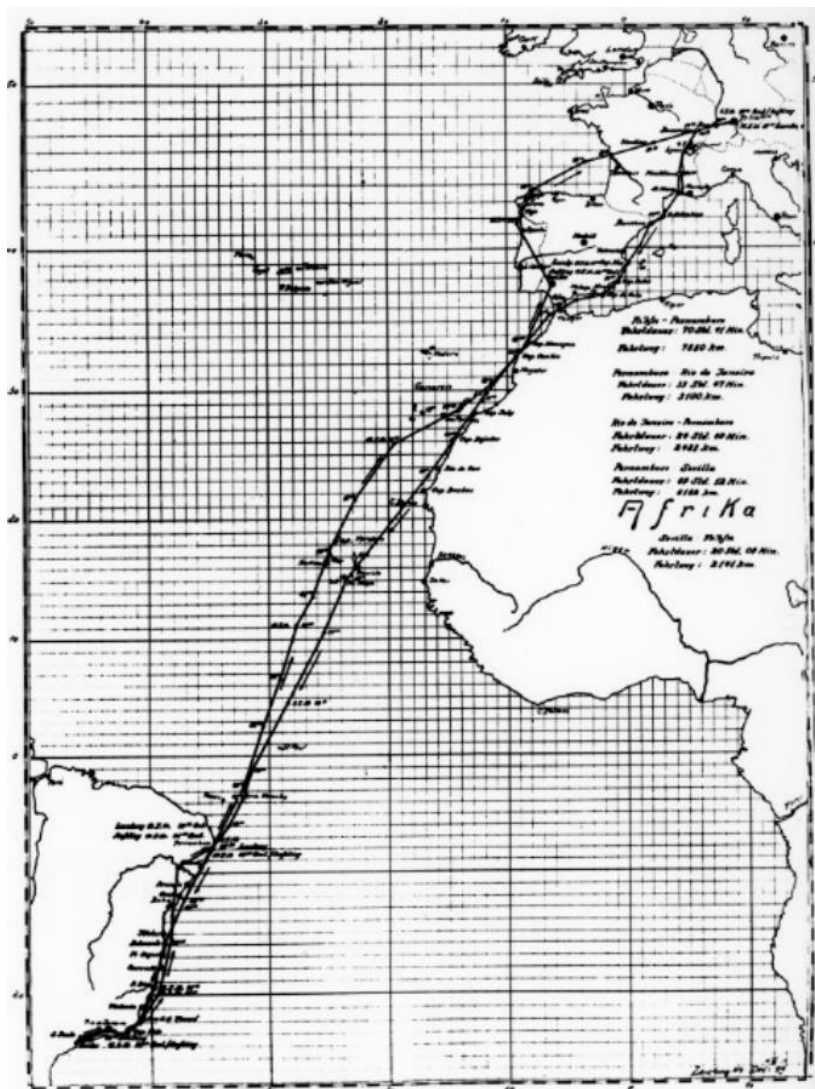


Obr. 4-2 Vzducholod' LZ 10 Schwaben společnosti DELAG [36]

Po první světové válce měly být zeppelinů provozovány na pravidelných trasách. Se zhruba čtvrtinovou přepravní dobou by mohly zdatně konkurovat železniční dopravě. LZ 120 Bodensee měla obsluhovat pravidelnou vnitrostátní linku Friedrichshafen–Berlín a LZ 121 Nordstern zase první mezinárodní linku Friedrichshafen–Berlín–Stockholm. V rámci válečných reparací však musely být zeppelinů odevzdány vítězným mocnostem. Zatímco LZ 120 stihla vykonat 102 letů, při kterých přepravila skoro 2500 cestujících, společně s pěti

tunami pošty a třemi tunami nákladu, LZ 121 nestihla být společností DELAG vůbec použita [6].

Transatlantická doprava byla zahájena až na konci dvacátých let, poté, co bylo Němcům opět povoleno provozovat vzducholodě, a kdy firma DELAG obnovila svoji činnost. První přelet Atlantiku s pasažéry na palubě provedl Graf Zeppelin v říjnu 1928. Tento let trval 111 hodin a 44 minut, poněvadž meteorologické podmínky tehdy byly velmi nepříznivé a došlo i ke zdržení kvůli opravě stabilizační plochy. Od roku 1931 létal Graf Zeppelin na pravidelné jižní lince Friedrichshafen–Pernambuco–Rio de Janeiro–Buenos Aires o délce přes 9000 km (viz příloha D). Do roku 1937, kdy byl kvůli nehodě Hindenburgu stažen z provozu, vykonal Graf Zeppelin 136 přeletů jižního Atlantiku [37].

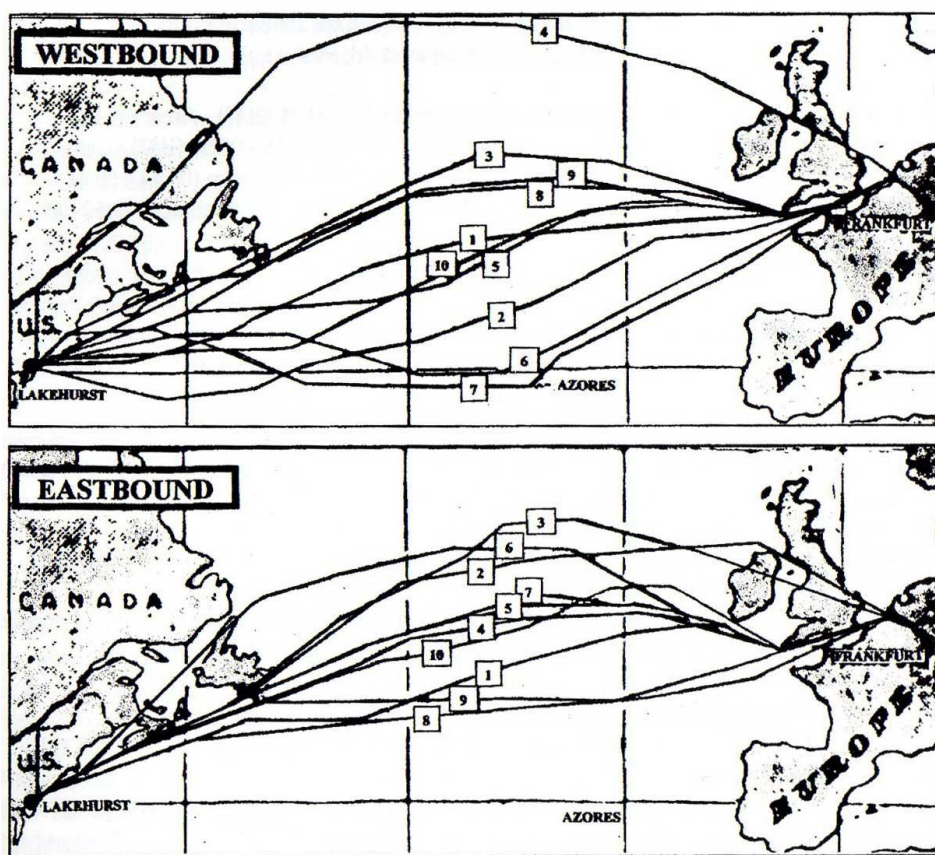


Obr. 4-3 Mapa jižní trasy Grafu Zeppelin [38]

Hindenburg přepravoval pasažéry přes Atlantik od roku 1936. Léтал na jižní lince, ale i na severní lince Frankfurt–Lakehurst. Úspěšných přeletů vykonal celkem 36, avšak první let roku 1937 se mu stal osudným a při přistávání v Lakehurstu byl zcela zničen.

Ve své době představovaly zeppelinové firmy DELAG nejrychlejší způsob, jak se dostat přes Atlantický oceán. Zatímco i těm nejrychlejším parníkům trvala cesta zpravidla pět až deset dní, zeppelinové jí zvládaly i za méně než tři dny. Nejrychlejší přelet Hindenburgu (východním směrem) dokonce trval pouhých 43 hodin. Především jižní linka byla oproti lodnímu spojení výrazně rychlejší a byla přitom hojně využívána, protože v Brazílii a Argentině žila početná německá komunita a současně měly tyto země s Německem silné obchodní vztahy.

Zeppelinové mohly vyvinout rychlost až 120 km/h a při příznivém větru se mohly pohybovat rychlostí až 150 km/h. Jejich rychlost a cestovní doba tedy výrazně záležely na počasí. Díky bohatým zkušenostem pilotů a navigátorů ale bylo do značné míry možné si počasí „vybírat“ [24]. Vzducholod' se tak při svém letu nad oceánem pohybovala v závislosti na ideálním větru ve výšce 400 až 6000 stop [6].



Obr. 4-4 Západní a východní trasy severní linky Hindenburgu [6]

Kromě toho, že v porovnání s parníkem trvala cesta zeppelinem asi poloviční dobu, byli také pasažéři zcela ušetřeni mořské nemoci. Tento luxus si ale vzhledem k značně omezenému počtu míst i letů a vysokým nákladům nemohl dovolit zdaleka každý. Například jednosměrná letenka na poslední let Hindenburgu stála 1000 říšských marek, tedy asi 450 tehdejších amerických dolarů. To představovalo asi sedmiměsíční příjem průměrného dělníka [26,39]. V přepočtu by tedy v dnešní době letenka stála přes 9000 dolarů [40]. Cena zahrnovala kromě samotné cesty i veškeré jídlo a pití a také přepravu až 126 kg zavazadel, které byly na jednu osobu povolené [41].

4.4 Polární lety

Poměrně důležitou roli hrály vzducholodě i při výpravách do arktických oblastí. Tehdejší letadla neměla dostatečný dolet a přidání přídavných palivových nádrží omezovalo kapacitu lidí i vědeckého zařízení. Kromě toho, že tak vzducholodě mohly celému světu ukázat svoji použitelnost v tamějších extrémních podmínkách, s většími či menšími úspěchy zde prováděly i vědecké výzkumy. Významné jsou především lety poloztužených vzducholodí Umberta Nobileho a nejúspěšnějšího zeppelinu LZ 127 Graf Zeppelin.

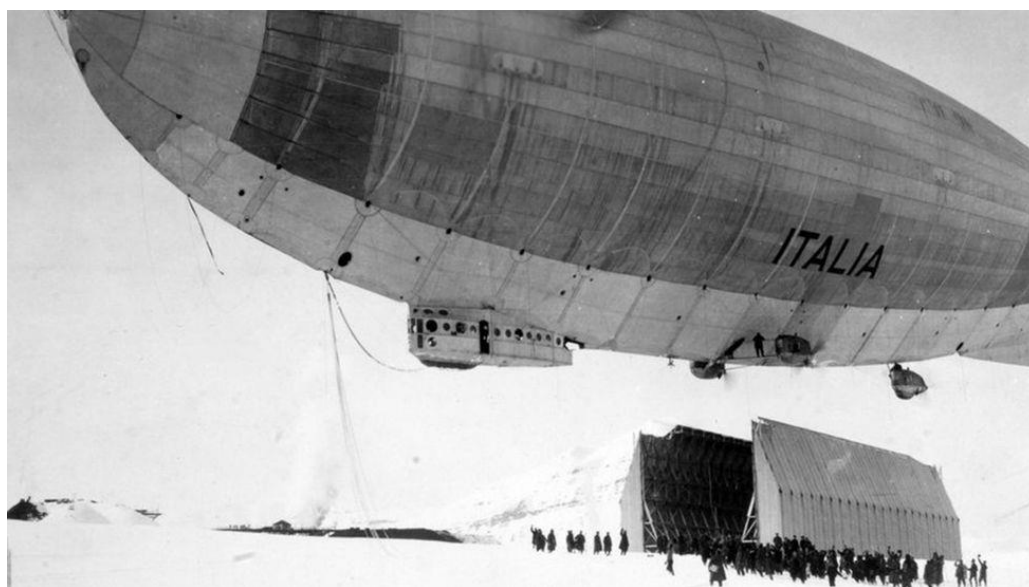
4.4.1 Norge

Umberto Nobile podnikl svůj první let na severní pól v roce 1926 se vzducholodí Norge. Tu si přitom vyžádal samotný Roald Amundsen, známý norský polární badatel, který byl motivovaný svou nešťastnou zkušeností z jara roku 1925. Tehdy musel se svým hydroplánem nouzově přistát 280 km od pólu, načež zde strávil přes třicet dní, než se mu na ledové kře podařilo vybudovat rozjezdovou dráhu, díky níž se letadlo dokázalo opět vznést. Amundsen byl přesvědčen, že vzducholod' by mu mohla posloužit podstatně lépe.

Norge však kvůli špatným meteorologickým podmínkám nemohla v oblasti pólu přistát a byla nucena při svém letu ze Špicberk pokračovat až na Aljašku. Posádce se pouze podařilo na pólu shodit státní vlajky. Při přistání na Aljašce, kdy byla posádka už více než 70 hodin bez spánku, byla navíc vzducholod' poškozena. Musela proto být rozebrána a poslána lodí zpět do Itálie. Za úspěch Norge se tak dá považovat alespoň 12 500 km dlouhá cesta z Říma na Aljašku, kterou urazila za 171 hodin, přičemž se stala první vzducholodí, která úspěšně přeletěla severní pól [42].

4.4.2 Italia

Druhá výprava Umberta Nobileho byla větším úspěchem, i když měla tragický konec. Posádce vzducholodí Italia se při jejím působení nad Severním ledovým oceánem podařilo zmapovat rozsáhlá území a provést množství měření v oblasti meteorologie, magnetismu a radioaktivity. Italia bohužel později při jednom ze svých výzkumných letů utrpěla řadu poruch, a nakonec havarovala ve zcela odlehlé oblasti.



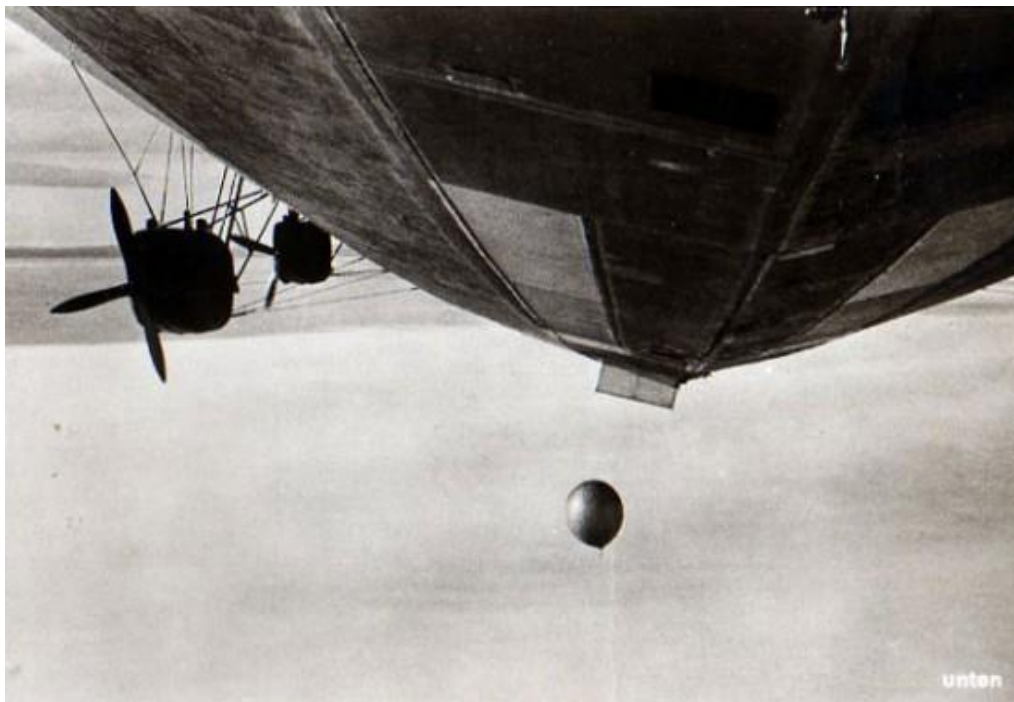
Obr. 4-5 Italia u svého dřevěného hangáru na Špicberkách [43]

Při havárii se utrhla hlavní gondola, a zbytek vzducholodi tak odletěl neovladatelně pryč i se šesti členy posádky. Z celkových šestnácti členů posádky osudného letu dále jeden zahynul při nárazu na zem a druhý při pokusu o přivedení pomoci. Zbytku posádky havarované vzducholodi se však podařilo zprovoznit rádio, díky kterému nakonec byli alespoň oni zachráněni. Záchrana členů výpravy se stala symbolem mezinárodní spolupráce a bohužel proslavila celou výpravu víc než její úspěchy. Z šestnáctičlenné posádky posledního letu nakonec přežilo jen osm členů. Dalších 9 obětí si navíc vyžádaly operace na jejich záchranu. Jednou z obětí se stal i účastník předchozí výpravy, Roald Amundsen [42].

Výprava Itálie však definitivně rozřešila dosud nerozluštěné zeměpisné problémy z oblasti geografie a oceánografie. Byly zmapovány rozsáhlé prostory Arktidy z hlediska měření ionosféry, zemského magnetismu, ale i přirozené a vesmírné radioaktivity. Takováto měření do té doby žádná polární výprava neprováděla vůbec, či jen zcela příležitostně. Měření navíc znamenala výrazný podnět pro další bádání o elektrických jevech a radioaktivitě v ionosféře [44].

4.4.3 Graf Zeppelin

Na rozdíl od italských výprav, výprava zeppelinu LZ 127, jako obvykle pod vedením Huga Eckenera, se odehrála bez jakýchkoliv nehod. Vyztužená vzducholod' operovala v polárních oblastech poslední červencový týden roku 1931. Na palubě byl dvanáctičlenný vědecký tým složený z německých, amerických, sovětských a švédských vědců, kteří prováděli meteorologická pozorování, mapování a měření odchylek magnetického pole v okolí pólu.



Obr. 4-6 Vypouštění meteorologické radiosondy z Grafu Zeppelin [6]

Mapování bylo prováděno pomocí speciální kamery, která každých několik sekund pořizovala snímky se záznamem o čase a nadmořské výšce. Poprvé tak byly přesně zmapovány Země Františka Josefa, Severní země a ostrov Vajgač. Meteorologická pozorování zahrnovala

vypuštění tří radiosond, které následně prováděly měření ve vyšších vrstvách arktického vzduchu [6,45].

Etapový let probíhal od 24. 7. do 31. 7. 1931 po trase Friedrichshafen–Berlín–Leningrad–Země Františka Josefa–Berlín–Friedrichshafen. Měl celkovou délku 13 310 km a obnášel přibližně 136,5 letové hodiny [45].

5 Provoz

5.1 Řízení

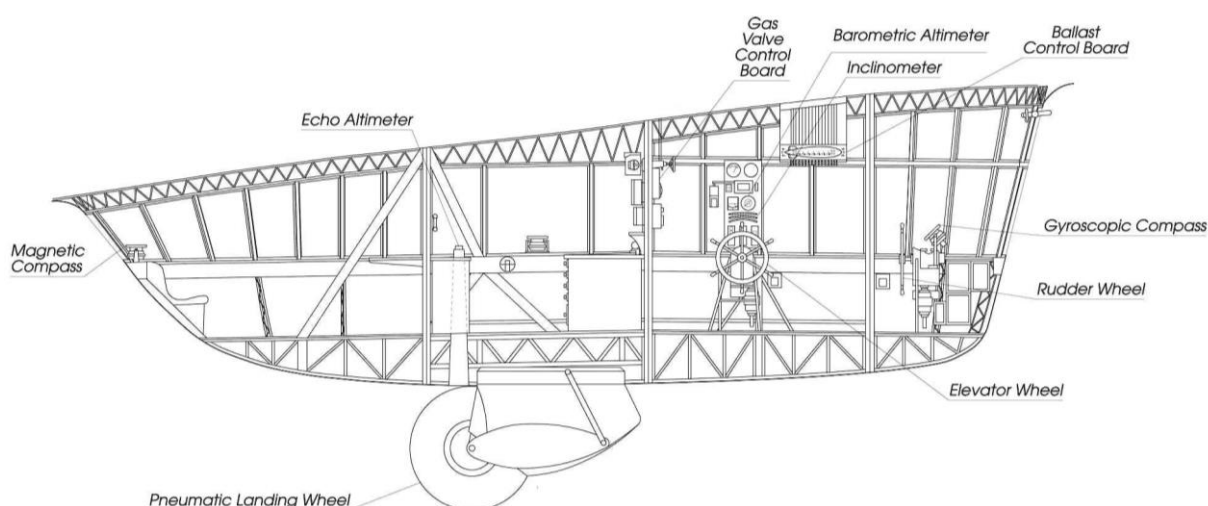
Kromě předem dané trasy letu a výšky letu, dané hlavně vertikální zeměpisnou členitostí, musely vzducholodě měnit směr i výšku na základě povětrnostních map, a manévrovat tak například mezi mraky či se vyhýbat bouřím.

Směr i výška byly regulovány primárně pomocí ocasních kormidel podobně jako u moderních letadel. Pro výraznější změnu výšky však bylo nutné kromě využívání ocasních kormidel pracovat i s vodní zátěží a manévrovacími plynovými ventily. Aby mohla vzducholod' klesat, bylo nutné snížit její aerostatický vztlak upuštěním části nosného plynu z plynových oddílů. U většiny vzducholodí musel být plyn postupně upouštěn i v průběhu letu, aby se vyrovnala ztráta hmotnosti v důsledku spalování paliva. Naopak stoupání bylo umožněno vypuštěním přídavné vodní zátěže uložené v nádržích na přídě a zádi stroje.

Vzducholodě plněné heliem, které si nemohly dovolit upouštět tento vzácný nosný plyn, měly motory vybavené rekuperačními jednotkami. V nich byly ochlazovány motorové spaliny, z nichž následně kondenzovala voda, kterou bylo možné přecerpávat a doplňovat tak přídavnou zátěž. Možný počet stoupání a klesání se tímto způsobem podstatně zvětšil. Zaoceánské vzducholodě, které musely být schopné manévrovat po celou dobu letu, trvající několik dní, zase spoléhaly na zásoby vody, které byly doplňovány užitkovou vodou z umýváren apod.

Jak je patrné z obrázku 5-1, veškeré řízení bylo možné provádět z řídicí místnosti vzducholodi. Manévrovací ventily byly ovladatelné přes speciální panel podobně jako vypouštění balastní vody. Od výškového a směrového kormidla v řídicí místnosti vedly k ocasním plochám řetězové převody.

Řídicí místnost byla s jednotlivými motorovými gondolami spojena telegrafem, přes který pilot udílel strojníkům rozkazy ke změně výkonu motorů. Konkrétně telegraf LZ 129 měl přepínače pro čtyři rychlosti vpřed (pomalá, poloviční, cestovní, volnoběh), dvě vzad (volnoběh, plný výkon) a pro úplné zastavení.



Obr. 5-1 Hlavní gondola LZ 129 s řídicí místností [25]

Kromě výše zmíněných způsobů regulace výšky byl i u nejvyspělejších vzducholodí stále v jisté míře používán systém obdobný pohyblivému závaží, jaký využívala už LZ 1.

U vyspělých vzducholodí sice bylo možné přečerpávat balastní vodu z jednoho konce lodě na druhý, ale zpravidla při přistávání, kdy se většina vody vypouštěla, bylo nutné, aby stroj vyvažovala i posádka. Část posádky se při přistávání přesouvala kýlovou chodbou na příď vzducholodi, čímž zajistila její podélný náklon a lepší klesání. Při potřebě rychlého stoupání se naopak část posádky přesunula na zád', aby příď odlehčila.

5.2 Navigace a komunikace

Pro udržování stálého kurzu vzducholodí, příhodné výšky a rychlosti letu bylo potřeba využívat hned několika různých způsobů navigace. I na konci 30. let 20. století přitom byly možnosti navigace stále značně omezené a mnohé metody byly v podstatě ještě v pionýrském stádiu.

Nejspolehlivější metodou navigace zůstávalo při letu nad pevninou optické sledování terénu. Navigátoři odhadovali vzdálenosti a světové strany podle významných terénních dominant, vodních toků, železničních tratí apod. Toho samozřejmě nemohlo být využito při letech nad oceánem či v arktických pustinách, kde v okruhu stovek kilometrů žádné orientační body nebyly.

Hojně tak byly využívány také metody zaměřování pomocí ručních přístrojů – sextantu či oktantu. Při dobré viditelnosti tak bylo možné podle Slunce, Měsíce a ostatních nebeských těles určit výšku a polohu vzducholodí a také její rychlost vzhledem k zemskému povrchu. Při špatné viditelnosti však nebylo možné sextant využít, a navigátor se tak musel spoléhat pouze na kompas a odhad rychlosti a směru větru, díky nimž mohl určovat pravděpodobnou vzdálenost a směr od poslední polohy zjištěné sextantem [42].



Obr. 5-2 Navigační důstojník LZ 127 při práci se sextantem [6]

Při letu nad pevninou bylo možné použít i radiogoniometrii, která teoreticky umožňovala zaměřit a navigovat vzducholodě i za špatného počasí. Avšak vzhledem k tomu, že síť pozemních goniometrických stanic byla poměrně řídká, bylo zaměřování vzducholodi jen orientační a někdy vedlo k omylům [44]. Pro vysílání navíc bylo potřeba klidného počasí, neboť anténní dráty se spouštěly ze vzducholodi do volného prostoru, což bylo v bouři poměrně riskantní. Při letu v mlze, a tedy v neznámé výšce nad zemí, se také nejedné vzducholodi stalo, že se anténa zachytila za stromy, načež se utrhla, a posádka tak ztratila spojení s pozemními stanicemi [8,24].

Při mlhavém počasí a špatné viditelnosti se také nezdálo, že poloha vzducholodi byla určena z mapy až poté, co se posádce podařilo bezpečně klesnout dostatečně nízko, aby mohla doletět podle řeky či železnice do nejbližšího města. Název města byl následně zjištěn z nádražní cedule či přímo komunikací posádky s obyvateli města.

Navigace pomocí radiotechniky taky nebyla zcela přesná. Vysílačky a přijímače byly často nespolehlivé nebo měly malý výkon. Poloha vzducholodi nad oceánem zjištěná pomocí komunikace s proplouvajícími parníky byla často sporná a nejednou se ukázalo, že se vzducholod' vlivem větrů odchylovala ze svého kurzu i o desítky až stovky kilometrů [24]. Samotná rádiová komunikace však byla pro vzducholod' životně důležitá, protože především díky ní se mohly vzducholodě alespoň částečně vyhýbat bouřím, které by je mohly snadno zničit.

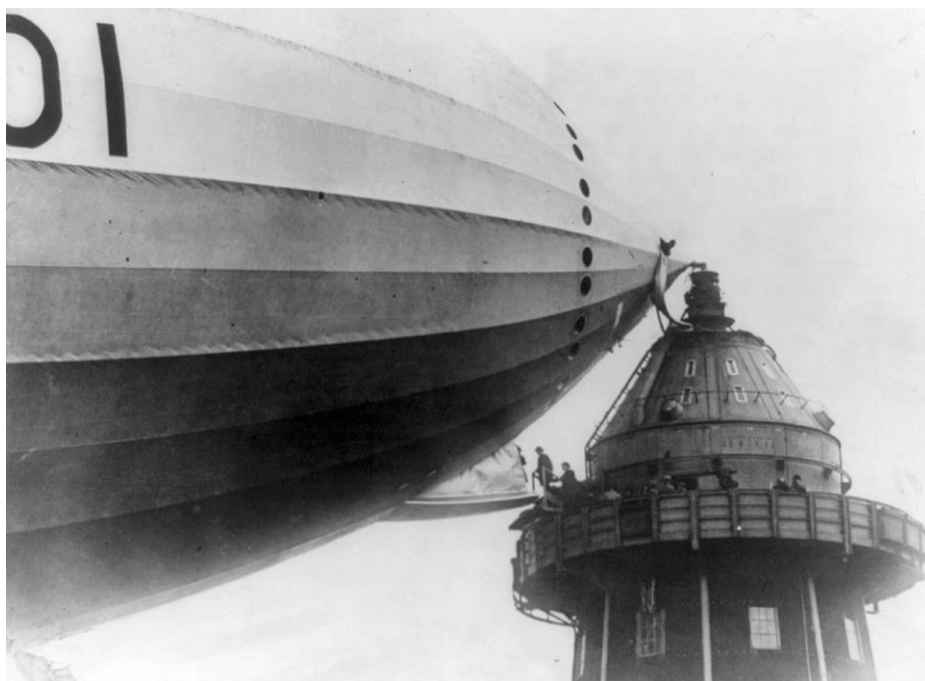
5.3 Pozemní obsluha

Pozemní obsluha vzducholodí byla poměrně náročná, ať už z hlediska personálního, materiálního či finančního. Obrovské vzducholodě musely být zpravidla zakotveny v ještě větších hangárech. Pouhá pozemní manipulace vyžadovala přítomnost i více než stovky mužů, kteří ovládali vzducholod' pomocí provazů. Ještě více jich přitom bylo potřeba při přistávání, pro které navíc bylo nutné zajistit i spoustu dalších věcí. Kromě toho bylo pro provoz samozřejmě nutné zajišťovat i enormní množství pohonných a provozních hmot či nosného plynu.

5.3.1 Kotvící stožáry

Ačkoliv nejbezpečnějším místem na zemi byl pro vzducholodě samozřejmě hangár, nebylo hangárů využíváno ve všech případech. Jednak ne každá přistávací plocha disponovala hangárem, jednak nebylo vždy potřeba do něj vzducholod' schovávat. V těchto případech využívaly vzducholodě pro své ukotvení kotvící stožáry, ke kterým byly připojeny pomocí speciálně upravené přídě. Díky stožáru byly pevně spojené se zemí, ale mohly se případně otáčet kolem stožáru ve směru větru. Kotvící stožáry lze dělit na dva druhy – klasický a tzv. „pahýlový“.

Klasický kotvící stožár byl většinou nepohyblivý a vzducholod' k němu připevněná se nacházela v relativně stále velké výšce. Přístup do vzducholodi byl totiž v jeho případě umožněn díky můstku, který spojoval stožár se speciálním příďovým vstupem do vzducholodi. Takovýto stožár měl být využíván např. i na Empire State Building, kde to však kvůli vzdušnému proudění nebylo možné. Tento systém úspěšně využívaly např. USS Los Angeles či britská R101 (viz obr 5-3) [46].



Obr. 5-3 Britská vzducholod' R101 s nástupní plošinou [46]

„Pahýlový“ kotvící stožár byl oproti klasickému menší a sloužil pouze ke kotvení. Jeho menší rozměry zaručovaly to, že příď vzducholodi byla v takové výšce, aby bylo možné zajistit přístup do vzducholodi přímo přes gondolu, ke které stačilo přistavit schůdky. Tuto variantu používal LZ 127 Graf Zeppelin [47].

5.3.2 Hangáry

Spolehlivější bylo samozřejmě kotvení v hangáru, který oproti stožáru poskytoval vzducholodi i dlouhodobou ochranu před veškerými vlivy počasí. Dostat však vzducholod' do hangáru nebo z něj bylo vzhledem k jejím rozměrům poněkud obtížné. Při nečekaném zavánu větru mohlo velice snadno dojít ke kontaktu vzducholodi s hangárem, a poškození její křehké konstrukce. Pozemní personál, který se vzducholodí manipuloval, proto musel být dobře vycvičený a organizovaný.

První, primitivnější možnost pozemní manipulace, využívala pouze síly pozemního personálu, přičemž spoléhala právě na jeho bezchybnou spolupráci. Po celou dobu musel pozemní personál udržovat vzducholod' v relativním klidu pomocí soustavy provazů visících ze vzducholodi. Vzducholod' se ale v tomto případě mohla volně pohybovat ve všech směrech, což rozhodně nebylo ideální.

Druhá, spolehlivější možnost, opět využívala kotvící stožár. V tomto případě stačilo připojit příď vzducholodi k „pahýlovému“ kotevnímu stožáru, který bylo následně možné přesouvat po kolejích společně s celou vzducholodí (viz obr 5-4). Díky tomu se podstatně snížil nutný počet členů pozemního personálu. Ten musel zajistit pouze to, aby se zád' vzducholodi příliš neodchylovala od směru kolejí, případně aby zůstala ve správné výšce, nebyla-li taky nějakým způsobem připoutána [47].



Obr. 5-4 USS Macon připojená ve svém hangáru na pohyblivý kotvící stožár [48]

5.3.3 Přistávání

Pro bezpečné přistání vzducholodi byly hlavními předpoklady primárně dobré počasí a viditelnost. Při příliš větrném počasí bylo přistání prakticky nemožné, takže muselo být odloženo, což ale pro vzducholodě s jejich velkým doletem a množstvím paliva nebyval problém. Vzhledem k nízké rychlosti, kterou se vzducholod' mohla přibližovat k přistávací ploše, nebyla až tak velkým problémem ani špatná viditelnost, byla-li zajištěna komunikace s pozemním personálem.

Pro bezpečné přiblížení k přistávací ploše musela být vzducholod' nejprve vyvážena, jelikož při nízké rychlosti postrádala prakticky veškerý aerodynamický vztlak. Před provedením přistávacího manévru tedy bylo nutné vzducholod' tzv. „zvážit“, a zjistit tak, zda je spíš těžká či spíš lehká. Zatímco motory byly spuštěny na zpětný tah, důstojníci v řídicí místnosti sledovali rychlost, jakou vzducholod' stoupá či klesá, a podle toho buď vypouštěli balastní vodu nebo nosný plyn tak, aby byla dosažena rovnováha. Ideální poté bylo klesat s předí velmi lehce sklopenou dolů, což zaručilo lepší úhel klouzání a vzducholod' sama plynule klesla k zemi. Bylo-li počasí neklidné, bylo vhodnější, aby byla vzducholod' při přistávání spíš lehčí, a přiblížení mělo být spíš nízké a dlouhé.

Jakmile byla vzducholod' nad přistávací vlajkou, mohla být z předě shozena lana, která byla na zemi zachycena pozemním personálem. Konkrétně u Grafu Zeppelin zachytávaly lana na levoboku i pravoboku skupiny po třiceti mužích. Vzducholod' byla současně stahována k zemi pomocí další sady lan, kterou na každé straně obsluhovala jedna dvacetičlenná skupina. Když Graf Zeppelin dosedl na zem, dalších padesát mužů muselo chytit za speciální dlouhé madlo jeho hlavní gondolu, zatímco dalších dvacet mužů zachytávalo podobná madla na zadní motorové gondole. Se třiceti muži v záloze tak čítala pozemní obsluha pro Graf Zeppelin rovné dvě stovky mužů [49].



Obr. 5-5 Graf Zeppelin po přistání ve Friedrichshafenu [6]

Kromě zajištění dostatečně početného pozemního personálu pro přistávání a pozemní manipulaci musela na letištích a přistávacích plochách fungovat také rádiová komunikace a případně meteorologická stanice. Přistání vzducholodi totiž samozřejmě vždy předcházela komunikace s pozemní obsluhou, která vzducholodi poskytla informace o teplotě a povětrnostních podmínkách. Komunikace probíhala prostřednictvím rádia, případně pomocí vlajkové signalizace. Na zemi také býval založen oheň, jehož kouř ukazoval sílu a směr větru.

V neposlední řadě však bylo nutné zařídit také servisování vzducholodí v podobě dostatku mechaniků, náhradních dílů a především nosného plynu, který musel být pravidelně čištěn (v případě vodíku jinak hrozilo jeho vzplanutí) a doplňován.



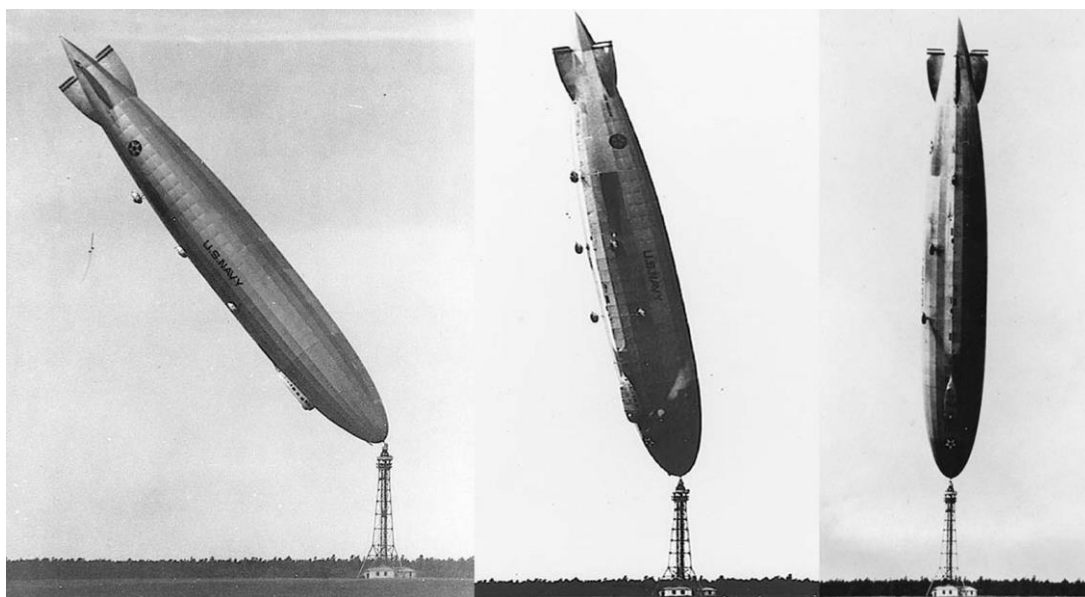
Obr. 5-6 Britská vzducholod' R 34 s množstvím tlakových lahví s vodíkem [50]

Jednou z možností doplňování nosného plynu bylo používání tlakových lahví, ale těch bylo potřeba obrovské množství. Proto bylo na některá letiště vedené potrubí z továrny na vodík (např. 4,5 km dlouhé potrubí z Griesheimu do Frankfurtu) nebo měla letiště přímo svoji vlastní výrobu plynu (např. vojenská základna Nordholz) či alespoň plynové zásobníky. Helium nemohlo být na rozdíl od vodíku získáváno tak jednoduše, a proto muselo být pečlivě přepouštěno a skladováno. K tomuto účelu musely v jeho případě stačit opět pouze tlakové lahve, případně plynové zásobníky [49].

5.4 Problémy při provozu

Vzducholodě se musely při svém provozu potýkat s řadou problémů. Mezi ty patřily především meteorologické podmínky, regulace výšky letu a obecně problémy spojené s tehdejší úrovní technologického vývoje. Většina problémů přitom platí nejen pro vyztužené vzducholodě, ale obecně pro letadla lehčí než vzduch, a tedy i pro vzducholodě s jinou než vyztuženou konstrukcí.

Vzducholoď se musely při letu vyhýbat oblastem s prudkými větry, které by mohly poškodit jejich konstrukci. Kvůli dodatečnému zatížení konstrukce větrem navíc bylo nutné snížit cestovní rychlost, čímž se doba strávená v nepříznivých podmínkách ještě zvyšovala. Poryvy větru však mohly obrovské těleso vzducholoďi nejen poškodit, ale také znatelně rozhýbat. Nad oceánem tak například vertikální poryvy větru způsobovaly, že vzducholoď mohla poněkud prudce nadskočit či naopak klesnout, a to o 100 až 150 metrů. Přitom samozřejmě mohlo dojít k poškození vybavení nebo zranění posádky či cestujících [24]. Citlivost vzducholoďí na vítr a současně problematickost kotvení ilustruje obrázek 5-7.



Obr. 5-7 USS Los Angeles s uvolněným kotevním lanem na zádi při poryvu větru [6]

Další problém vzducholoďí byl ten, že v dešti, sněhu, mlze, ale i při průletu mrakem, celá vzducholoď značně ztěžkla. I přes snahy o maximální vodotěsnost pláště, který měl ovšem obrovskou plochu, mohla vzducholoď celkem snadno nabrat i několik tun vody [24]. Kvůli tomu mohla vzducholoď klesnout i o kilometr. Voda navíc mohla z pláště stékat i do gondol, kde poškozovala elektrické vybavení. K tomu však docházelo jen u vzducholoďí, které měly nedokonalou konstrukci nebo zcela otevřené gondoly. Především tedy u prvotních modelů nebo u vojenských vzducholoďí v 1. sv. válce [8].

Velkým problémem byla často i samotná zima, a to nejen při polárních letech, ale i při letech v zimních měsících nebo prostě jen ve velkých výškách. Na potahu vzducholoďi se tvořila námraza, která ji dodatečně zatěžovala, ale také např. značně znesnadňovala přístup do motorových gondol. Led odpadávající z pláště navíc mohl poškodit vrtuli. Naopak led odlétávající z vrtulí zase mohl poškodit tkaninu pláště či dokonce roztrhnout plynové vaky. Kromě námrazy vnějších částí někdy zamrzalo i palivové či olejové potrubí, případně pak i celý motor [8,42].

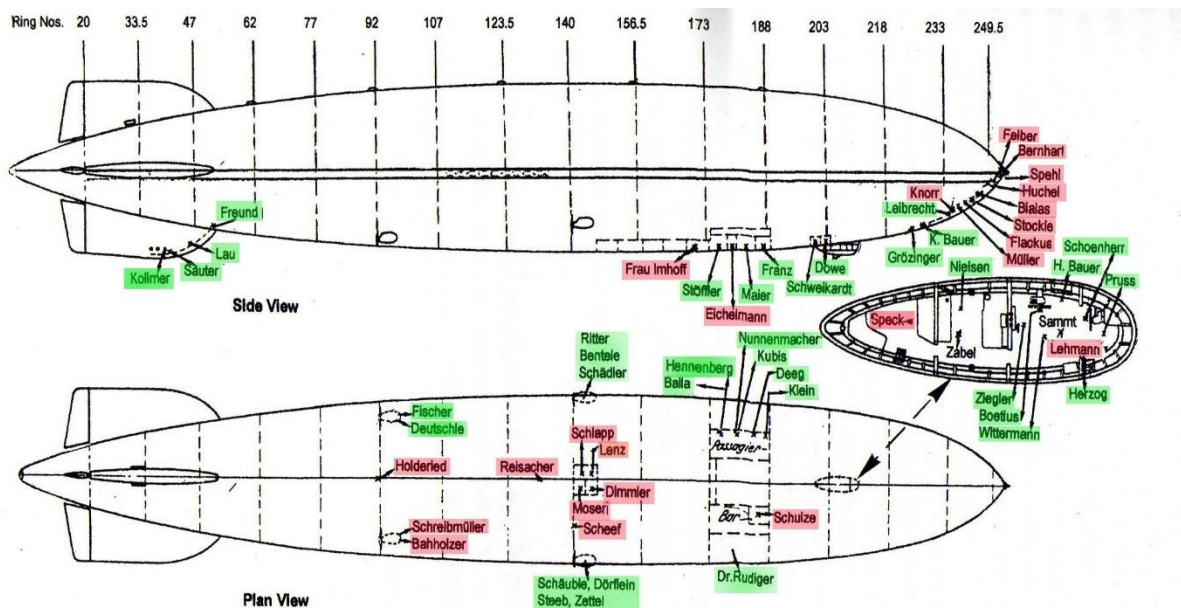
Nepříznivým meteorologickým podmínkám bylo teoreticky možné se vyhnout díky vyšší letové hladině. Ve velkých výškách ale docházelo vlivem intenzivního slunečního záření k rozpínání nosného plynu. Plynové oddíly proto musely být vybaveny pojistnými ventily, aby nedošlo k jejich roztržení. Upouštěním nosného plynu pojistnými ventily však zároveň klesala

nosnost vzducholodi [8,11]. Mimoto posádky vzducholodí většinou nebyly vybaveny kyslíkovými maskami, a zpravidla ani dostatečným oblečením, které by je chránilo před výškovou nemocí a mrazem, jimž by vzhledem ke konstrukci vzducholodí byly vystaveny.

Problematické bylo také nouzové přistávání, kdy neměl kdo zachytávat lana, která by jinak byla ze vzducholodi spuštěna pozemní obsluze. Pokud totiž někdo ze vzducholodi vyskočil, aby mohl lano zachytit a ukotvit, celá vzducholod' se o jeho hmotnost odlehčila, takže začala stoupat, a zachytit lano pak bylo ještě problematičtější. Při nouzovém přistání na tvrdou zem mohl být navíc náraz natolik silný, že posádka na okamžik ztratila vědomí, což mohlo přistávání jen ještě více ohrozit. Obzvláště tehdy, nebyla-li posádka na takové případy předem vycvičená a koordinovaná, a některým jejím členům se podařilo vyskočit, zatímco ostatní se v bezvědomí vznášeli zase vzhůru. Nejbezpečnější proto bylo přistávat v lese, kde mohla vzducholod' dosednout na pružné koruny stromů, přičemž spuštěná lana se zpravidla o stromy sama zachytila. [8]

5.5 Nehody

Nejnámější nehodou je zřejmě zkáza vzducholodi Hindenburg v květnu roku 1937. Ačkoliv dodnes není zcela jasné, co přesně bylo příčinou vznícení zeppelinu, je jisté, že důvodem jeho rychlé zkázy bylo právě použití vodíku coby nosného plynu. Z celkových 97 lidí na palubě jich však tehdy přišlo o život „pouze“ 35. Je ale nutné zmínit, že se jednalo o vůbec první nehodu vzducholodi provozované společností DELAG se ztrátami na životech či zraněním cestujících.



Obr. 5-8 Rozmístění přeživších (zeleně) a zemřelých (červeně) při nehodě LZ 129 [6]

Na druhou stranu vzducholodě jiných provozovatelů měly havárií podstatně více, a často i s lidskými oběťmi. Jen v první světové válce například bez nepřátelského přičinění shořelo třináct zeppelinů a dvě vzducholodě Schütte-Lanz.

Po první světové válce skončily v plamenech i americká neztužená vzducholod' Wingfoot Air Express, vyztužená britská R-38, poloztužená Roma americké armády, francouzská vyztužená

Dixmude a vyztužená britská R101. Při těchto nehodách zahynula zpravidla celá, či většina posádky.

Příčinou vzplanutí vodíkových vzducholodí bylo často pozemní doplňování či vypouštění vodíku, kdy zřejmě vodík zapálila jiskra statické elektřiny, nebo neopatrná údržba (např. čištění vnitřních prostor hořlavinou) a pozemní manipulace. Kromě toho samozřejmě některé vzducholodě shořely při nouzovém přistání nebo v důsledku zasažení bleskem. Obecně nejčastější příčinou havárií či nouzových přistání samozřejmě zůstávalo špatné počasí, tedy silný vítr a špatná viditelnost. Vzhledem k tehdejší technologické úrovni také hrály významnou roli chyby při navigaci a různé poruchy.

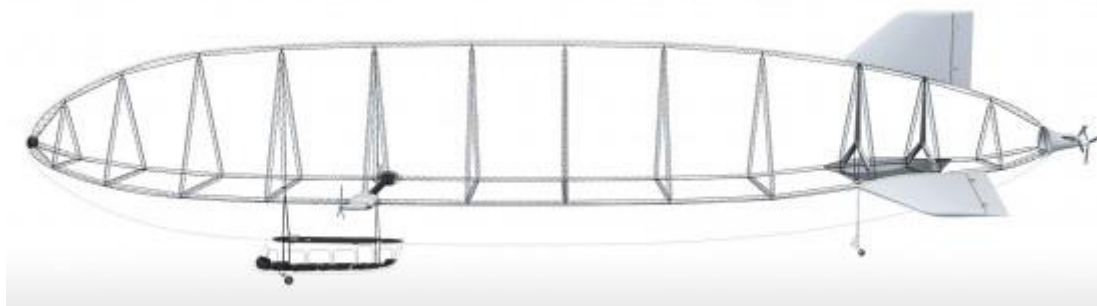
Ačkoliv helium bylo z pohledu požárů zcela bezpečné, kvůli špatným odhadům počasí a neopatrnosti posádek na tom nebyly vzducholodě plněné heliem, co se týče nehod, o mnoho lépe. Paradoxně nejvíce lidských životů v historii vzduchoplavby si vyžádala právě havárie heliem plněné USS Akron v roce 1933. Z její 76členné posádky tehdy zahynulo celkem 72 mužů. Důvodem byl mimo jiné i nedostatek záchranných člunů a nafukovacích vest [6].

6 Moderní vzducholodě

Ačkoliv vyztužené vzducholodě už se od katastrofy vzducholodi Hindenburg skoro neobjevily, vzducholodě poloztužené a neztužené konstrukce nachází určité uplatnění i ve 21. století. Jejich použití alespoň okrajově ilustruje následující kapitola.

6.1 Zeppelin NT

Na konci dvacátého století ožila na pobřeží Bodamského jezera myšlenka a dědictví starých zeppelinů. Firma Zeppelin Luftschifftechnik GmbH zde začala vyrábět poloztužené vzducholodě plněné heliem pod názvem Zeppelin NT (Neue Technologie), které mají délku 75 m a průměr 14 m, přičemž objem helia je 8450 m³. První taková vzducholod' vzletla v roce 1997. Od té doby bylo vyrobeno 6 kusů. Maximální rychlost Zeppelinu NT je 125 km/h a maximální dolet je až 900 km. Vzducholod' třídy NT uveze 1900 kg nákladu, což představuje 2 členy posádky a 12 až 14 pasažérů.



Obr. 6-1 Konstrukce Zeppelinu NT [6]

Poloztužená trojúhelníková konstrukce Zeppelinu NT je vyrobená z uhlíkového vlákna a skládá se ze 14 vzájemně propojených segmentů. Plášť je tvořen třemi vrstvami. První vrstva je vyrobená z tedlaru, druhá z polyesterové tkaniny a třetí z polyuretanu. Tyto moderní materiály zajišťují plášti mnohem větší pevnost a vykazují podstatně menší propustnost nosného plynu.

Zeppelin NT má tři benzínové motory – dva boční a jeden zadní. Boční motory se mohou naklánět o 90° nahoru či 30° dolů a umožňují vzducholodi vertikální vzlety a přistání, ale také stabilní vznášení či dokonce let vzad. Zadní motor pohání tlačnou vrtuli, kterou lze otočit o 90° směrem dolů, a řídicí vrtuli na spodní straně vzducholodi, kterou je možné otáčet ze strany na stranu. Podobně jako neztužené vzducholodě používá i Zeppelin NT pro regulaci výšky systém balonetů naplněných vzduchem, které svým řízeným rozpínáním udržují v plášti naplněném heliem konstantní tlak [51].



Obr. 6-2 Boční motory Zeppelinu NT [6]



Obr. 6-3 Gondola Zeppelinu NT [6]

Zeppelin NT se používá pro pravidelné vyhlídkové lety v okolí Bodamského jezera. Lety mohou trvat 30 až 120 minut a cena jedné letenky se pohybuje v řádu stovek eur. V USA provozuje Zeppeliny NT od roku 2014 firma Goodyear, která jimi nahradila své neztužené vzducholodě [6]. Díky tomu, že mohou Zeppeliny NT zůstat dlouho ve vzduchu a zároveň pouze minimálně vibrují, hodí se i pro výzkumné mise, jako jsou pozorování životního prostředí, troposférický výzkum nebo průzkum nerostných zdrojů. Obecně jsou díky své výborné ovladatelnosti, poměrně velké nosnosti a možnosti pomalého a nízkého letu vhodné pro nejrůznější výzkumné projekty. [55]

Pro přijetí na kurz pilotování moderního zeppelinu je potřeba, aby měl pilot nalétáno alespoň 1500 hodin s jiným letadlem [12].

6.2 Neztužené vzducholodě

Neztužené vzducholodě jsou i v dnešní době stále využívány, a to především pro účely pozorování či k obraně vojenských objektů. Například Izraelské vojenské letectvo hodlá využívat neztužené vzducholodě pro provoz radarových systémů, které mají rozšířit dosavadní systémy včasného varování a protivzdušnou obranu v daném regionu.

Nová technologie nazývaná Sky Dew by měla umožňovat umístění senzorů ve vysoké nadmořské výšce, kde by monitorovací zařízení mohla setrvávat po dobu několika dní. Tento

system by poskytoval významné technologické a provozní výhody pro včasnou a přesnou detekci hrozeb ze strany iránských dronů a řízených střel [52].

Americký pentagon zase oznámil, že hodlá utratit 52,2 milionů dolarů na „provoz a údržbu“ až 18 vzducholodí, které mají být nasazené na hranici s Mexikem. Tam mají fungovat jako „systém detekce perzistentních hrozeb“ a jejich úkolem má být sledování pašeráků drog pomocí vysokokapacitních senzorů a kamer umístěných ve výšce 15 000 stop [53].



Obr. 6-4 Izraelská vzducholod' systému Sky Dew [52]

6.3 Hybridní vzducholodě

Asi nejnámější hybridní vzducholodí je Airlander 10 britské firmy Hybrid Air Vehicles (HAV). Airlander 10 je dlouhý 92 m, široký 43 m, vysoký 26 m a pojme 38 000 m³ helia. Helium zajišťuje 60 % jeho vztlaku, přičemž zbylý podíl vztlaku je aerodynamický. Dosahuje maximální rychlosti 150 km/h a může vystoupat do šestikilometrové výšky. Unese až deset tun nákladu a do jeho kabiny se vejde až 48 osob [56,57].

Standardně byl Airlander 10 vybaven čtyřmi osmiválcovými vznětovými motory, ale minulý rok byl vybaven elektrickými motory poháněnými vodíkovými palivovými články. Takto vylepšený by měl produkovat o 75 procent méně emisí než konvenční letadla, přičemž dva ze čtyř původních motorů mu prozatím zůstanou. Plně elektrická verze by však mohla být k dispozici do roku 2030.

HAV se snaží prosadit myšlenku k vytvoření alternativy k cestování tradičními letadly s pevnými křídly. Přestože je Airlander pomalejší než letadlo, může dopravit cestující blíže k jejich konečnému cíli, protože mu pro vzlet a přistání stačí jakýkoliv rovný povrch, včetně vody. Především na kratších trasách je proto cestovní čas v porovnání s letadlem velmi podobný nebo jen mírně delší. Airlander si však zachovává veškerý komfort a jeho hlavní výhodou jsou velmi nízké emise [57].



Obr. 6-5 Airlander 10 [57]

7 Závěr

Vzducholoďe se vyvinuly z balonů a jaké takové představovaly přímý vývoj letadel lehčích než vzduch. I když zpočátku neměly vzducholoďe konkurenci, co se týče doletu, nosnosti, stoupavosti, ani rychlosti, postupem času bylo jasné, že je nakonec letadla těžší než vzduch nevyhnutelně vytlačí.

Vzducholoďe však hrály velký význam ve vývoji letectví a připsaly si mnohé úspěchy a prvenství, které mohou z dnešního pohledu působit až neuvěřitelně, uvážíme-li tehdejší úroveň technologického vývoje.

V průběhu historie provozu vzducholoďí došlo k řadě nehod, které si vyžádaly mnoho lidských obětí. Kromě toho, že za fatálními následky těchto nehod často stál vysoce hořlavý vodík, hlavními příčinami byl většinou špatný odhad počasí, chyby v navigování nebo pouhá neznalost schopností a výkonů vlastního stroje.

Na druhou stranu úspěšnost společnosti DELAG, která dokázala bezpečně přepravit své pasažéry při tisícovkách letů, je jasným důkazem toho, že byla-li posádka zkušená, a se vzducholoďí bylo zacházeno opatrně, bylo možné v podstatě veškerým fatálním nehodám předejít.

Vzhledem k dnešním možnostem, které zahrnují výrazně lepší a spolehlivější materiály, přesné meteorologické předpovědi, satelitní navigaci apod. je možné provozovat vzducholoďe mnohem jednodušeji a především také bezpečněji. Práci, kterou by dříve musely vykonávat desítky až stovky lidí, je dnes ve velké míře možné nahradit moderní elektronikou a inteligentními systémy řízení.

Bohužel velké vyztužené vzducholoďe známé z první poloviny dvacátého století se zřejmě už nikdy nevrátí, protože jejich úlohu rychlého dopravního prostředku definitivně převzaly moderní aerolinky s výrazně rychlejšími letadly, která navíc umožňují přepravu v takovém měřítku, kterého by vzducholoďe nikdy nebyly schopny. Oproti tomu poloztužené a především pak neztužené vzducholoďe nachází uplatnění v různých oblastech i v dnešní době.

Už od začátku 21. století se také spekuluje o využití hybridních vzducholoďí, které by mohly přepravovat těžké náklady na obtížně dostupná místa. Mohly by tak sloužit např. pro zásobování polárních výzkumných stanic či poskytovat humanitární pomoc v místech zasažených přírodními katastrofami. Ačkoliv se za poslední dvě desetiletí objevila řada projektů, nebyl zatím žádný natolik úspěšný, aby se dočkal plnohodnotné realizace.

Seznam použitých zdrojů

- [1] La France Krebs and Renard airship, 1884-85. In: *Pinterest* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/490610953137683659/>
- [2] Patrie (airship). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2. dubna 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Patrie_\(airship\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Patrie_(airship))
- [3] PLOCEK, Petr, Pavel SVITÁK a Jan BALEJ. *Balony a vzducholodě: Historie vzduchoplavby a létání*. Brno: CPress, 2013. ISBN 978-80-264-0264-0.
- [4] Zeppelin History - From First Rigid Airships to NT Airships. In: *Zeppelin History* [online]. 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <http://www.zeppelinhistory.com/rigid-airships-history/>
- [5] BÉLAFI, Michael. *Graf Ferdinand von Zeppelin*. Leipzig: B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, 1987. Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner. ISBN 3-322-00402-3.
- [6] GROSSMAN, Daniel. *Airships.net* [online]. 2018 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.airships.net/>
- [7] List of Zeppelins. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Zeppelins
- [8] MARBEN, Rolf. *Zeppelinův útočí: 1914-1918*. Praha: Naše vojsko, 2007. ISBN 978-80-206-0899-4.
- [9] VENSKY, Hellmuth. Die Ära der schwebenden Stoffwürste. In: *Zeit Online* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.zeit.de/wissen/geschichte/2009-11/erste-fluggesellschaft/seite-2>
- [10] Zeppelin: Aircraft. In: *Britannica* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/zeppelin>
- [11] 220 Tonnen - leichter als Luft: Materialgeschichte der Hindenburg. In: *220 Tonnen – Leichter als Luft* [online]. Stuttgart: Universität Stuttgart [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.hi.uni-stuttgart.de/gnt/ausstellungen/zeppelin/index.html>
- [12] *Massive engines: Airships (episode 9)*, 2004 [Dokumentární série]. Režie Hugh WHITWORTH. Velká Británie. Discovery UK. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=z5-Ao6VCzrk>
- [13] Helium Act of 1925. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 25. května 2021 [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Helium_Act_of_1925

- [14] BLAIN, Loz. Could hydrogen airships return as fast, cheap, green cargo transports?. In: *New Atlas* [online]. 14. prosince 2021 [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://newatlas.com/aircraft/h2clipper-hydrogen-dirigible-cargo/>
- [15] Airships seek new role. In: *Royal Aeronautical Society* [online]. 2016, 15. ledna 2016 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.aerosociety.com/news/airships-seek-new-role/>
- [16] Coal gas. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Coal_gas
- [17] Gases - Densities: Densities and molecular weights of common gases like acetylene, air, methane, nitrogen, oxygen and others. In: *The Engineering Tool Box* [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/gas-density-d_158.html
- [18] NOVÁK, Jan. Nosné plyny používané ve vzducholodích. In: *Vzducholodě* [online]. 2008, 11. června 2008 [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <http://vzduchol.sweb.cz/nosne.html>
- [19] FASUROVÁ, Hana. *Nad Brno se vznesla vzducholod'. Dnes před 136 lety* [online]. In: 13. prosince 2008 [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://brnensky.denik.cz/serialy/nad-brno-se-vznesla-vzducholod-20081212.html>
- [20] COOPER, Rob. Revealed: How Germans were banned from eating sausages during WWI because intestines of 250,000 cows were needed to make each Zeppelin. In: *Daily Mail* [online]. 2013, 23. srpna 2013 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2400890/Germans-banned-eating-sausages-World-War-One-intestines-250-000-cows-needed-make-Zeppelin-airship.html>
- [21] JONES, Sam. Wurst luck – how Zeppelins hit German sausage-eaters. In: *The Guardian* [online]. 2013, 23. 8. 2013 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/lifeandstyle/2013/aug/23/wurst-zeppelins-german-sausage>
- [22] USS Akron. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2022 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/USS_Akron
- [23] Rellenado de aceite en el motor de la LZ 127 'Graf Zeppelin', 1934. In: *Alamy* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.alamy.es/foto-rellenado-de-aceite-en-el-motor-de-la-lz-127-graf-zeppelin-1934-48346288.html>
- [24] ECKENER, Hugo a Rolf BRANDT. *Vzducholodí Graf Zeppelin do Ameriky*. Praha: Dr. Eduard Grégr, 1929.

- [25] FOWLER, David. Detailed technical drawings of the Hindenburg D-LZ129: A set of technical drawings of the passenger airship Hindenburg. *High risk adventures* [online]. 2021 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <http://www.highriskadventures.com/airships/index.html>
- [26] Zeppelin Museum Friedrichshafen, 2020, Live-Führung: Reisen mit der Hindenburg, YouTube video. [2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=8hLbpJqB6dg&t=1321s>
- [27] Dural. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2021 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Dural>
- [28] *Unsere Zeppeline*, 1938 [dokumentární film]. Režie Bruno STINDT. Německo. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=qFIPC9fWjh8>
- [29] Zeppelin Museum Friedrichshafen, 2020, Live-Führung: Die Konstruktion der Hindenburg, YouTube video. [2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=jEvZXwykLXU&t=807s>
- [30] SERGIJEVIČ, Jurij. Osen pylayuschih gigantov. *Warspot* [online]. 2019 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://warspot.ru/14309-osen-pylayuschih-gigantov>
- [31] U.S. Standard Atmosphere vs. Altitude: Properties of the US standard atmosphere ranging -5000 to 250000 ft altitude. In: *The Engineering Tool Box* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/standard-atmosphere-d_604.html
- [32] Balóny a vzducholoď. In: *Válka.cz: Server o vojenství a historii* [online]. 2001 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: https://www.valka.cz/55-Balony-a-vzducholode?utm_source=valka_cz&utm_medium=article&utm_campaign=serial
- [33] List of Schütte-Lanz airships. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Sch%C3%BCtte-Lanz_airships
- [34] French Airships / Dirigeable - The Great War. In: *Globalsecurity.org* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.globalsecurity.org/military/world/europe/fr-dirigeable-2.htm>
- [35] GUTTMAN, Robert. British Airships 1905-30. In: *HistoryNet* [online]. 26. 1. 2018 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.historynet.com/aviation-history-book-review-british-airships-1905-30/>
- [36] COLSMAN, Alfred. *Luftschiff voraus!: Arbeit und Erleben am Werke Zeppelins*. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1933.

- [37] Transatlantic Zeppelin Flights – An Early Air Service. In: *On historic routes* [online]. 19. května 2015 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <http://on-historic-routes.com/2015/05/19/transatlantic-zeppelin-flights/>
- [38] LZ 127 Graf Zeppelin South America flight route 1933. In: *Picryl* [online]. San Diego: San Diego Air & Space Museum, 1933 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://picryl.com/media/gmap-lz-127-graf-zeppelin-south-america-flight-route-1933-4f05a7>
- [39] Burtis Dolan's Hindenburg Passenger Ticket. In: *Smithsonian: National Postal Museum* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://postalmuseum.si.edu/exhibition/fire-ice-hindenburg-and-titanic-exhibition-fire-ice-rarities/burtis-dolans-hindenburg>
- [40] How much is a dollar from the past worth today?. *MeasuringWorth* [online]. 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.measuringworth.com/dollarvaluetoday/?amount=450&from=1937>
- [41] Which was the world's first airline?. In: *OceanSky Cruises* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.oceanskycruises.com/history/which-was-worlds-first-airline>
- [42] CROSS, Wilbur. *Ztroskotání na pólu: tragédie vzducholodi Italia a Nobileho výprava k severnímu pólu v roce 1928*. Praha: Paseka, 2002. ISBN 80-7185-487-5.
- [43] PIESING, Mark. The giant hangar built for an Arctic airship. In: *BBC* [online]. 12. září 2018 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/future/article/20180911-the-giant-hangar-built-for-an-arctic-airship>
- [44] JAROŠ, Jiří a Ludmila JAROŠOVÁ. *Přelet Itálie nad Moravou: Drama nad Blanenskem*. Blansko: Muzeum Blansko, 2008. ISBN 978-80-86951-05-8.
- [45] FOLPRECHT, Radek. Příběh nejslavnější vzducholodě. Před 90 lety byla na arktické expedici. In: *IDnes.cz* [online]. 2021, 25. července 2021 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/technika/nejslavnejsi-a-nejuspesnejsi-vzducholod-lz-127-graf-zeppelin.A210722_222052_tec_technika_erp
- [46] Loading passengers onto an airship from a mooring mast, 1930s. In: *Rare historical photos* [online]. 20. října 2021 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://rarehistoricalphotos.com/mooring-mast-1930s/>
- [47] *Moving Mechanical Mooring Mast*. 1930 [dokumentární film]. USA. Dostupné také z: <https://www.britishpathe.com/video/moving-mechanical-mooring-mast/query/graf+zeppelin>
- [48] 1932 : l'USS Macon. In: *Futura planete* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.futura-sciences.com/planete/photos/environnement-grande-epopee-ballons-dirigeables-1945/uss-macon-1932-uss-macon-13976/>
- [49] *Airship and Balloon Gas Manual*. Washington: Government Printing Office, 1920.

- [50] Balloons - Hangars and Beds: The R-34 ready to start home. In: *Picryl* [online]. Western Newspaper Union, 1919 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://picryl.com/media/balloons-hangars-and-beds-the-r-34-ready-to-start-home-the-r-34-as-she-lies-9f24d6>
- [51] The special experience at the Bodensee. *Zeppelin NT: Die schönste Art zu fliegen* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://zeppelinflug.de/en/zeppelin-flights>
- [52] CENCIOTTI, David. Israel Prepares To Launch Giant Missile And Aircraft Detection Blimp Dubbed “Sky Dew”. In: *The Avionist* [online]. 4.11.2021 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://theaviationist.com/2021/11/04/israel-sky-dew/>
- [53] ROPEK, Lucas. Pentagon Plans to Spend \$52 Million in 2022 on U.S Border Spy Blimps. In: *Gizmodo* [online]. 19. 1. 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://gizmodo.com/pentagon-plans-to-spend-52-million-in-2022-on-u-s-bord-1848387793>
- [54] ENGELHARD, Michael. Amundsen and an Airship Land in Alaska. In: *Alaska magazine* [online]. 16. května 2021 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://alaskamagazine.com/authentic-alaska/amundsen-and-an-airship-land-in-alaska/>
- [55] Zeppelin NT. In: *Wikiwand* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://www.wikiwand.com/de/Zeppelin_NT#/Einsatzgebiete
- [56] Airlander 10. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Airlander_10
- [57] BLOCK, India. "Flying bum" airship concept updated with motors powered by fuel cells alongside diesel engines. In: *Dezeen* [online]. 18. června 2021 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.dezeen.com/2021/06/18/airlander-electric-airship-hav-sustainable/>

Seznam obrázků

Obr. 2-1 La France na dobovém plakátu [1]	11
Obr. 2-2 Vzducholod' Patrie [2]	12
Obr. 2-3 Ocasní plochy LZ 3 [6]	16
Obr. 2-4 Viktoria Luise a hangár v Baden-Baden [6]	18
Obr. 2-5 Graf Zeppelin nad San Franciscem [6]	19
Obr. 2-6 Výkres přídi Hindenburgu s palubami ukrytými uvnitř kostry [25]	20
Obr. 3-1 Instalace plynového oddílu do kostry vzducholodi [11]	23
Obr. 3-2 Primitivní gondola LZ 1 se čtyřválcovým motorem Daimler [5]	25
Obr. 3-3 Motorová gondola LZ 127 při doplňování oleje [23]	26
Obr. 3-4 Vrtule vzducholodi USS Akron natočená do svislého směru [22]	26
Obr. 3-5 Náskres kýlové chodby vzducholodi USS Shenandoah [6]	27
Obr. 3-6 Prostory pro cestující ve vzducholodi LZ 126 [6]	28
Obr. 3-7 Vnitřní uspořádání gondoly LZ 127 [6]	29
Obr. 3-8 Navigační místnost s žebříkem ústícím do kýlové chodby [6]	29
Obr. 3-9 Příčný řez Hindenburgem [6]	30
Obr. 3-10 Paluba A (horní paluba) [25]	31
Obr. 3-11 Salonek na palubě A [6]	32
Obr. 3-12 Paluba B (dolní paluba) [25]	32
Obr. 3-13 Lodní kuchyně vzducholodi Hindenburg [6]	33
Obr. 3-14 Nýtovaná konstrukce kostry z trojúhelníkových duralových nosníků [27]	34
Obr. 3-15 Jeden z prstenců LZ 130 opatřený drátěným výpletem a průchozí šachtou [25]	36
Obr. 4-1 Kulometná plošina vojenského zeppelinu [30]	38
Obr. 4-2 Vzducholod' LZ 10 Schwaben společnosti DELAG [36]	40
Obr. 4-3 Mapa jižní trasy Grafu Zeppelin [38]	41
Obr. 4-4 Západní a východní trasy severní linky Hindenburgu [6]	42
Obr. 4-5 Italia u svého dřevěného hangáru na Špicberkách [43]	43
Obr. 4-6 Vypouštění meteorologické radiosondy z Grafu Zeppelin [6]	44
Obr. 5-1 Hlavní gondola LZ 129 s řídicí místností [25]	46
Obr. 5-2 Navigační důstojník LZ 127 při práci se sextantem [6]	47
Obr. 5-3 Britská vzducholod' R101 s nástupní plošinou [46]	49
Obr. 5-4 USS Macon připojená ve svém hangáru na pohyblivý kotvicí stožár [48]	50
Obr. 5-5 Graf Zeppelin po přistání ve Friedrichshafenu [6]	51
Obr. 5-6 Britská vzducholod' R 34 s množstvím tlakových lahví s vodíkem [50]	52
Obr. 5-7 USS Los Angeles s uvolněným kotevním lanem na zádi při poryvu větru [6]	53
Obr. 5-8 Rozmístění přeživších (zeleně) a zemřelých (červeně) při nehodě LZ 129 [6]	54
Obr. 6-1 Konstrukce Zeppelinu NT [6]	56
Obr. 6-2 Boční motory Zeppelinu NT [6]	57
Obr. 6-3 Gondola Zeppelinu NT [6]	57
Obr. 6-4 Izraelská vzducholod' systému Sky Dew [52]	58
Obr. 6-5 Airlander 10 [57]	59

Seznam příloh

Příloha A – výkresy LZ 129 a LZ 130 [25]

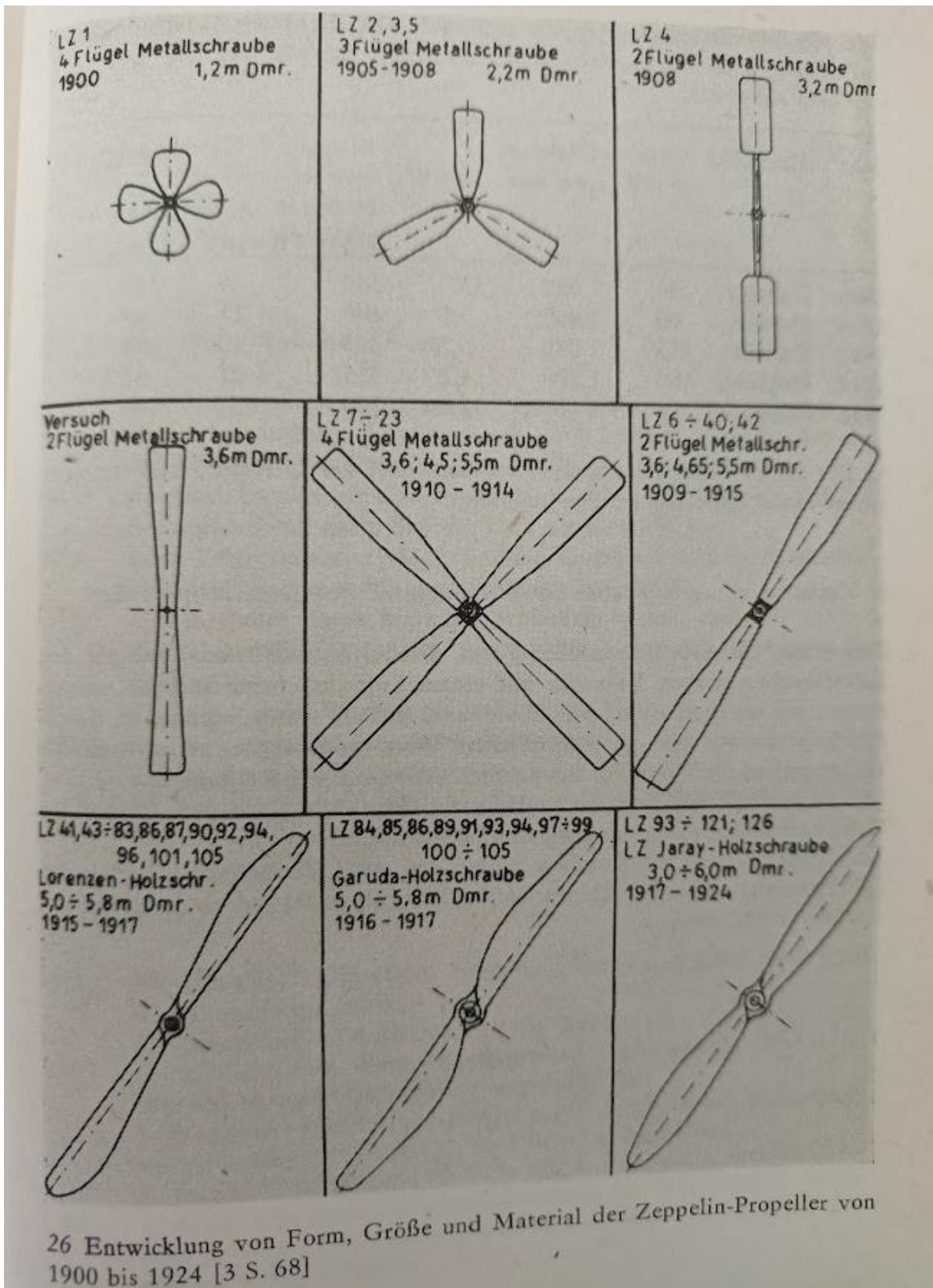
Dostupné z: <http://www.highriskadventures.com/airships/index.html>

Příloha B – vývoj vrtulí prvotních zeppelinů [5]

Příloha C – kýlová chodba vzducholodi Norge [54]


Příloha D – letový řád Grafu Zeppelin [6]

Příloha B



Příloha C



Luftschiffbau Zeppelin  Friedrichshafen, Germany
No. 2

To South America by Zeppelin

1934 Time Table of the airship „Graf Zeppelin“.

Friedrichshafen *	Pernambuco	Rio de Janeiro	Aeroplane connection of Syndicato Condor Ltda.		Rio de Janeiro	Pernambuco	Friedrichshafen *
Dep. Saturday evening	Arr. Tuesday evening	Arr. Thursday morning	Buenos Aires Arr. Friday	Buenos Aires D. Wednesd.	Dep. Thursday morning	Dep. Friday evening	Arr. Tuesday after noon
6. 9.	6. 12.	6. 14.	6. 15.	6. 13.	6. 14.	6. 15.	6. 19.
6.23.	6.26.	6.28.	6.30.	6.30.	7. 1.	7. 2.	7. 6.
7. 21.	7. 24.	7.26.	7.27.	7. 25.	7. 26.	7. 27.	7. 31.
8. 4.	8. 7.	8. 9.	8.10.	8. 8.	8. 9.	8.10.	8.14.
8.18.	8. 21.	8.23.	8.24.	8. 22.	8.23.	8.24.	8.28.
9. 1.	9. 4.	9. 6.	9. 7.	9. 5.	9. 6.	9. 7.	9. 11.
9.15.	9.18.	9.20.	9. 21.	9.19.	9.20.	9. 21.	9.25.
9.29.	10. 2.	10. 4.	10. 5.	10. 3.	10. 4.	10. 5.	10. 9.
10.13.	10.16.	10.18.	10.19.	10.17.	10.18.	10.19.	10.23.
10.27.	10.30.	11. 1.	11. 2.	10.31.	11. 1.	11. 2.	11. 6.

* In Europe there are direct aeroplane connections operated by the Deutsche Lufthansa A.-G.
The foregoing Time Table is subject to alteration, especially as regards the departure dates in and after August.

Fares:

Friedrichshafen—Pernambuco..... *R.M.* 1400.—
 Friedrichshafen—Rio de Janeiro..... *R.M.* 1500.—
 Pernambuco—Rio de Janeiro *R.M.* 400.—
 Rio—Buenos Aires (Aeroplane) *R.M.* 400.—

Freight rates (excluding Consular fees):

Friedrichshafen—Pernambuco.. *R.M.* 8.— per kilogramme
 Friedrichshafen—Rio de Janeiro *R.M.* 10.— per kilogramme

For Information and Bookings please apply to:

Hamburg-American Line,
Wm. H. Müller & Co., 66-68 Haymarket, London SW 1

their agencies, travel bureaus, or:

