

# PLÁN UMÍSTĚNÍ KONTEJNERŮ NA KONTEJNEROVÝCH LODÍCH

## STOWAGE PLAN OF CONTAINERS ON CONTAINER VESSELS

Arnošt Bartošek<sup>1</sup>, Ondřej Marek<sup>2</sup>

---

*Anotace: Příspěvek analyzuje proces plánu umístování kontejnerů na kontejnerovou loď v námořním kontejnerovém terminálu, tzv. plán stohování. Specifikuje účastníky a informace, jež jsou nutné k zpracování plánu stohování. Následně je charakteristickými prvky tento plán demonstrován za pomoci systému oddílů-řad-vrstev. V závěrečné části je zpracována příkladové studie plánu stohování kontejnerů pro kontejnerovou loď s kapacitou 4 400 TEU a algoritmus plánu stohování.*

*Klíčová slova: plán stohování, kontejnerová loď, TEU, slot*

*Summary: This paper analyses so called stowage plan at maritime container terminal. There are specified subjects and information involved in the processing of stowage plan. The system of bay-row-tier is characterized by their typical components. The model study of stowage plan is carried out at the end of the paper, together with stowage plan algorithm.*

*Key words: stowage plan, container vessel, TEU, slot*

### ÚVOD

Od 60. let minulého století zjednodušila kontejnerizace přepravu zboží a změnila chápání mezikontinentálních dopravních cest. Rejdařům po celém světě umožnila přepravu zboží napříč oceány s minimálními náklady a veškerou komplexností. Za účelem zvýšení přepravy většího počtu kontejnerů a ekonomičnosti provozu rejdaři vyžadují stále větší kapacitu kontejnerových lodí. Samotná kapacita prošla dlouhým vývojem od počátečních kontejnerových lodí s kapacitou 350 TEU (Twenty Foot Equivalent Unit), až po současné konstruované kontejnerové lodě, jež disponují kapacitou k 18 000 TEU. Společně s touto evolucí došlo i ke vzniku samostatných specializovaných přístavů a terminálů, které se věnují pouze překládce kontejnerů.

Jedním ze zásadních procesů na intermodálním přepravním řetězci je proces překládky kontejnerů v námořním terminálu. Jedná se o komplexní proces, zahrnující všechny operace související s vykládkou/nakládkou/překládkou kontejnerů, viz (1). Jelikož je kontejnerový

---

<sup>1</sup> Ing. Arnošt Bartošek, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Dopravní, Ústav logistiky a managementu dopravy, Horská 3, 128 03 Praha, Tel.: +420 607 507 292, E-mail: [xbartosek@fd.cvut.cz](mailto:xbartosek@fd.cvut.cz)

<sup>2</sup> Ing. Ondřej Marek, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Dopravní, Ústav logistiky a managementu dopravy, Horská 3, 128 03 Praha, Tel.: +420 776 030 354, E-mail: [xomarek@fd.cvut.cz](mailto:xomarek@fd.cvut.cz)

terminál primárním uzlem v intermodálním dopravním řetězci, musí být všechny operace zahrnující tok kontejnerů optimalizovány za účelem dosažení maximální plynulosti toků a příslušné produktivity. Nejdůležitějším ukazatelem produktivity je počet překládkových operací za hodinu, jež provádějí jeřáby na nábrežní hraně. Tento počet ovlivňuje dobu pobytu kontejnerové lodi u nábrežní hrany, viz Tab. 1. Maximální výkonnost jeřábů při použití vhodné technologie terminálu zároveň souvisí s potřebnými manipulacemi vzhledem k počtům překládaných kontejnerů – zpravidla se nepřekládají všechny. Nedílnou součástí těchto překládkových operací je i tzv. „plán umístění kontejnerů“, tedy „plán stohování“. Integrace tohoto plánu ovlivňuje celkový chod překládkových operací v celém terminálu a dále též souslednost překládek (který kontejner z které plochy pro uskladnění kontejnerů v terminálu bude převzat, kam bude na lodi uložen a ve kterou dobu).

Tab. 1 - Srovnání produktivity nábrežních jeřábů u nábrežní hrany

Velikost lodi (TEU)	Počet zdvihů (hod)			Počet přidělených jeřábů
	30	40	50	
	Překládka lodi* (hod)			
8 000	69	51	41	5
10 000	71	54	43	6
12 000	86	64	51	6

\*udané hodnoty vyjadřují maximální dobu s ohledem na danou technologii a potřebu překládky

Zdroj: Autoři a (2)

Proces plánu umístění kontejnerů byl a je podroben vědecké analýze již od 70. let minulého století. Vzhledem k využití algoritmizace procesů a vlastních inovací jednotlivými provozovateli námořních lodí, jsou tyto procesy chráněny tajemstvím, které napomáhá konkurenční výhodě při vysokém stupni automatizace. Z tohoto principu je velmi obtížné získat praktická data o plánu umístění kontejnerů a publikované práce se zabývají především hypotetickými problémy. Mezi autory posledních let lze možno zařadit následující (2), (3) a (4), jež se věnují především problematice zpracování algoritmů plánu stohování určených pro velké kontejnerové lodě a taktéž heuristickému řešení problému.

## 1. PLÁNOVÁNÍ STOHOVÁNÍ KONTEJNERŮ NA TERMINÁLECH

Obecným předpokladem pro efektivní činnosti kontejnerových terminálů je správné uspořádání jednotlivých částí terminálů a využití technologií pro dané operace, viz (1) a (5). Pro optimalizaci operací uvnitř terminálů jsou pak nezbytné parametrizace, ve spolupráci s plány činností, které jsou vázány na samotné dohody mezi provozovateli a rejdaři. Smlouvy o využití ploch pro uskladnění kontejnerů v terminálech navazují na tzv. „sailing schedules“, které určují i plánované termíny příplutí a odplutí lodí z terminálů. Plány příplouvání lodí jsou domlouvány smluvními stranami se značným předstihem na základě poptávaného rozsahu činností a kapacity terminálů, zpravidla i pro dlouhá období, která umožní poslopnou rotaci lodí v jednotlivých servisech. Důležitým faktorem je včasné příplutí lodí, kdy je pak téměř 100% jistota možného rozsahu překládky. Omezení nastává při špatných klimatických podmínkách, kdy rejdaři musí rozhodnout o čase, kdy se překládka ukončí. Velikost lodí je ve fázi příprav překládky také zohledněna, případné výměny je pak nutno koordinovat

postupným předáváním nákladu především u kapacitních plavidel. Vzhledem k dopředným datům jsou na základě plánu příplutí chystány jeřáby pro příplutí lodí, přičemž řada rejdařů používá stále stejná kotviště na terminálech, již s ohledem na podobné velikosti lodí opakovaných servisů (5). Koordinace tak při dodržení časových plánů nevázne. Problémy generuje např. rejdařství MSC, kde vedení v Ženevě neustále mění řadu parametrů oběhu plavidel a značná část flotily má tak neustálé zpoždění. Samotná rozhodování terminálů o jednotlivých činnostech překládek souvisejí s neveřejnými vztahy s rejdaři. Stejně tak koordinace mezi požadavky rejdařství a schopnostmi terminálů závisí na vzájemné spolupráci, dohodách, prioritách atd. Nezbytnou součástí je přímá propojenost systémů, která umožňuje i přímou interakci provozovatele lodí přerušit překládku a následně urychleně s lodí odplout. Stowage plány, viz 2. polovina článku, tak přímo působí na plánování a provádění operací na terminálech, přestože vlastní výpočty jsou odpovědností rejdařů.

Plán umístění kontejnerů na paluby lodí je dynamickým procesem, jehož součástí je často tzv. „rolling“, tedy odsunutí kontejnerů z plánu nakládky. Tuto činnost provádí samotný terminál na pokyn rejdaře. Jedním z důvodů je skutečnost, že rejdař cca o 10% loď překnihuje, neboť ne všechny kontejnery budou skutečně včas naloženy a dodány na terminál přístavu. Tento proces se skládá z několika fází, který určí konečný stav kontejnerů:

1. OPTIMAL - cca 48 hodin před plánovaným odplutím lodí (den a čas closingu<sup>3</sup>), kdy je rejdařem analyzováno, které kontejnery chybí. Na základě této analýzy je rozhodováno, zda bude/nebude třeba některé kontejnery vyřadit. Tyto seznamy zároveň putují ke kancelářím/agentům, kteří mají možnost stanovit, že některé konkrétní kontejnery nebudou rollovány, a to včetně těch, které mají hlášen Late Arrival/Late Gate In<sup>4</sup>. Reefer a IMO<sup>5</sup> kontejnery, které jsou často směřovány na konkrétní plavidlo, se zpravidla neodsunují.
2. PRE-FINAL - cca 24 hodin před plánovaným odplutím. V této fázi se na základě předchozích informací, námitek a stavu kontejnerů stanoví téměř konečný stav. Loď je v daném okamžiku již v přístavu a kotví u terminálu (popř. se i vykládá), a tak jsou kontejnery, které nedorazily (vč. preferovaných) automaticky vyřazeny. Výjimku tvoří speciální případy (např. kontejnery se střelivem), které nesmí být skladovány v přístavu a přijíždějí až k boku lodí, na stanovené místo, ve stanovený čas. Optimalizace tak projde dalším krokem a menšími úpravami.
3. FINAL LOAD PLAN - cca 12-30 hodin před odplutím. Zde se stanoví finální plán s časovým rozvrhem. Dle něho se v případě nutnosti (zpravidla povětrnostní vlivy) postupuje tak, že se určí kontejner, který bude nakládán poslední (přírozně k tomu dojde až v době nakládky). Tento rozhodný okamžik stanoví rejdař s ohledem na řadu aspektů, vč. rotace lodí a jejího včasného odplutí. Finální plán obsáhne umístění kontejnerů s aspektem optimalizace vzhledem k reálné situaci.

<sup>3</sup> Closing, nebo také Cut Off, je termínem, do kterého musí být kontejner doručen na terminál, aby byl akceptován pro nakládku na danou loď.

<sup>4</sup> Late Arrival/Late Gate In je rejdařem akceptovaný odložený termín dodání kontejneru na terminál.

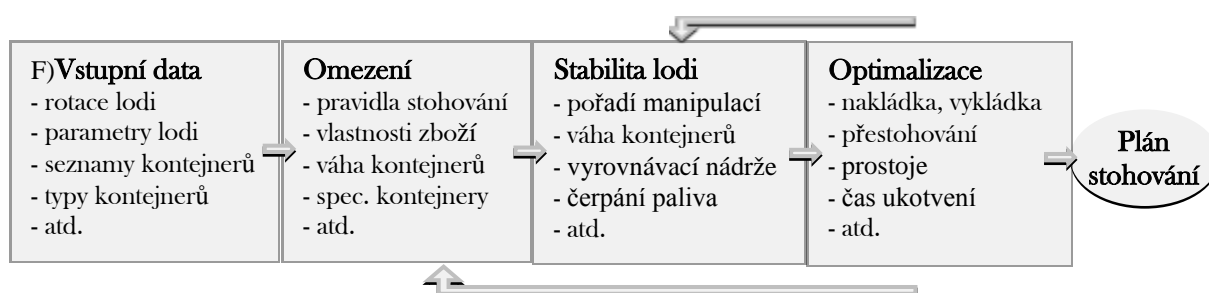
<sup>5</sup> IMO kontejnery jsou kontejnery obsahující nebezpečné zboží, které má při akceptaci zpravidla přednost.

## 2. UMISŤOVÁNÍ KONTEJNERŮ NA KONTEJNEROVÉ LODI

Plán umístění kontejnerů na kontejnerové lodi (v zahraniční ozn. Stowage Plan nebo Master Bay Plan Problem) lze definovat jako problém, jak naložit určitý počet kontejnerů odlišného typu do určitého počtu dostupných lokací na lodi, vzhledem k přístavu jejich nakládky a vykládky, s cílem docílit min. časového průběhu doby trvání. To vše s ohledem ke struktuře a operativním omezením souvisejících jak s kontejnery, tak s kontejnerovou lodí.

V počátcích kontejnerových námořních přeprav byl plán stohování řízen samotným kapitánem lodi, avšak postupem času, jakožto následek rozvoje kontejnerizace, rozhodoval o plánu stohování terminál v souladu s instrukcemi koordinátora plánu stohování lodi, tedy zástupcem rejdaře. Tento proces se již posunul do iterativní úrovně interaktivní kooperace, která je dalším stupněm koordinace spolupráce a optimalizace. Tímto je rozdělen plán stohování do dvou kroků. V prvním kroku vytvoří rejdař tzv. „předběžný plán stohování“, který obsahuje celkový počet kontejnerů, jež mají být nakládány a rezervaci slotů na lodi, rezervovaných pro každý přístav. Tyto sloty jsou dynamicky přidělovány s ohledem na objemy zboží, koexistenci sousedních oddílů a časové úspory. V druhém kroku zpracují plán stohování plánovači precizním přidělením kontejnerů k jednotlivým slotům. Tento krok se v reálném stavu několikrát opakuje v souvislosti s closingem lodi (viz kap. 1), analýzou skutečného stavu doručených kontejnerů a rollingem kontejnerů, které je z kapacitních důvodů třeba odložit. První zpracování probíhá již několik dní před příplutím lodi a podklady k němu poskytuje koordinátor stohovacího plánu. Obvykle mají koordinátoři plánu stohování okolo šesti hodin na vytvoření základního plánu umístění kontejnerů na loď. Při tomto zpracování je zapotřebí znát následující informace pro plán v daném přístavu (viz Obr. 1):

1. Kapacitu, profil, strukturu, operační omezení a další parametry kontejnerové lodi.
2. Rotaci kontejnerové lodi s návazností jednotlivých přístavů, vč. času příplutí a odplutí.
3. Seznamy kontejnerů nacházejících se na lodi již před příplutím lodi do přístavu, jejich specifikace a místa vykládek.
4. Seznamy kontejnerů, které mají být naloženy, vč. míst vykládek, a jejich specifikace – dle typu, hmotnosti, zboží, atd.
5. Podrobné seznamy IMO kontejnerů, reefer kontejnerů, tankových kontejnerů, flat kontejnerů a kontejnerů s přesahem, které mají být naloženy, vč. míst vykládek.
6. Preference některých kontejnerů a seznamy kontejnerů, které nebyly naloženy na předchozí loď daného servisu.
7. Definování dostupných oddílů pro kontejnery, viz bod 4.



Zdroj: Autoři

Obr. 1 - Informace nutné pro zpracování plánu stohování

Stohovací plán, tzn. plánování uložení kontejnerů v kontejnerové lodi, je v současnosti prováděn např. za pomoci tzv. dokumentu „profil“, jež je zpracováván pomocí algoritmů počítačových programů a musí být vždy prvně zpracován již před příplutím dané kontejnerové lodi do přístavu. Tento dokument je přesouván mezi zainteresovanými subjekty pomocí EDI. V některých případech může dojít i k tomu, že konkrétní plán stohování není znám ani několik hodin před příjezdem kontejnerové lodi do přístavu, vzájemná koordinace činností pak musí být lépe uspořádána. Mezi nejznámější software, využívaný pro stohovací plán, je možno řadit např. CASP nebo Bulko. Nejnovější přístupy vzájemné interakce mezi zástupci plánovačů na straně rejdáře a terminálových specialistů, vč. on-line provázanosti na úrovních rozhodování, činí moderní plány více flexibilními a nadále přispívají ke zvýšení optimalizace pro oba subjekty.

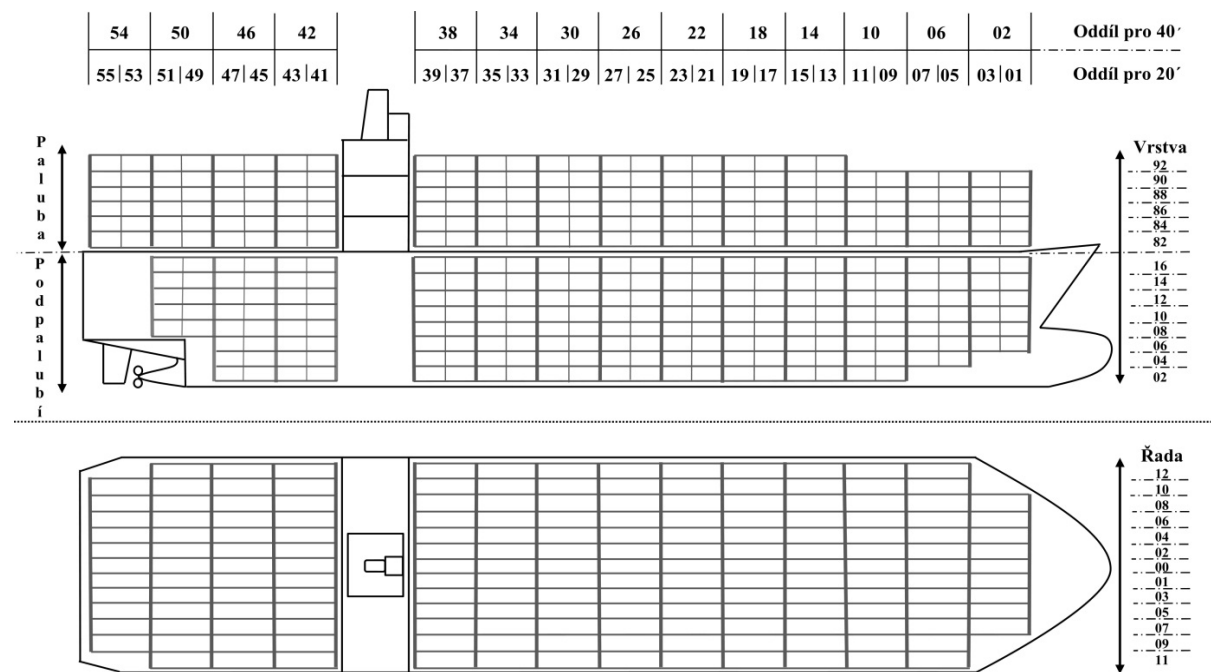
### 3. SYSTÉM ODDÍLŮ-ŘAD-VRSTEV

Pro stohování kontejnerů na lodi je využíván tzv. systém oddílů-řad-vrstev, zobrazený na Obr. 2. Tento obrázek zobrazuje hypotetickou kontejnerovou loď s kapacitou okolo 4 400 TEU. Tato loď by přibližně odpovídala v praxi lodi CMA CGM CORAL rejdáře CMA-CGM. Loď náleží dle klasifikace do třídy Post Panamax a tato třída tvoří v současnosti nejpočetnější třídu flotily kontejnerových lodí rejdářů. Systém oddílů-řad-vrstev je v současnosti nejvíce využívaným systémem při zpracování plánu stohování, někteří rejdáři však používají své vlastní systémy pro určení polohy kontejneru (4). V systému oddílů-řad-vrstev je číselně vyjádřeno uložení kontejneru v úložném prostoru kontejnerové lodi, vztahující se k délce, šířce a výšce lodi, zahrnující palubu i podpalubí kontejnerové lodi. Dle posloupnosti je lokace každého kontejneru specifikována následujícími identifikátory, mezi něž náleží oddíl, řada a vrstva (např. identifikační číslo 150214). Dle těchto principů je oddíl blok kontejnerů v příčném směru, řady jsou pozice, kde je kontejner umístěn napříč šíří loď a vrstva značí, ve které úrovni je kontejner vertikálně umístěn. Každý obdélník na Obr. 2 tak zobrazuje prostor pro jeden 20' kontejner (20'), jež se nazývá „slot“. Dva sloty v kontejnerové lodi tvoří tzv. „buňku“ do níž je možno stohovat 40' kontejner (40'). V malé míře se mohou na lodi vyskytovat i buňky pro 45' kontejnery.

Při provádění plánu stohování mají k dispozici plánovači zobrazení jednotlivých oddílů kontejnerové lodi, dle systému oddílů-řad-vrstev, jak je zobrazeno na Obr. 3 (6). Od doby, kdy jsou loď schopny převážet 20' a 40', jsou oddíly pro 20' číslovány lichými čísly (01, 03, až např. do 75). Oddíly pro 40' je číslovány sudými čísly (02, 04, až do např. 74) a vztahují se ke dvěma styčným 20' oddílům (např. oddíl 14 = 13+15). Číslování oddílů se ubírá od příďe lodi směrem k její zádi a jejich počet se odvíjí od velikosti kontejnerové lodi. Obvykle jsou oddíly rozděleny několika předěly, tzv. palubními přepážkami, na palubu a podpalubí, jak je zobrazeno přerušovanou čarou na Obr. 3. V podpalubí jsou pak umístěny tzv. svislé přepážky, což jsou svislé zdi trupu lodi oddělující fyzicky podpalubí do několika úložných prostorů. Obvykle zahrnují dva liché oddíly, což odpovídá jednomu sudému oddílu. Řady kontejnerů jsou číslovány sudými čísly ze středu nalevo (začíná se od čísla 02), tzv. strana u moře a lichými čísly ze středu napravo (začíná se číslem 01), tzv. strana nábrežní hrany terminálu. Pokud je celkový počet řad lichý, značí se prostřední řada číslem 00. Vrstvy jsou číslovány od

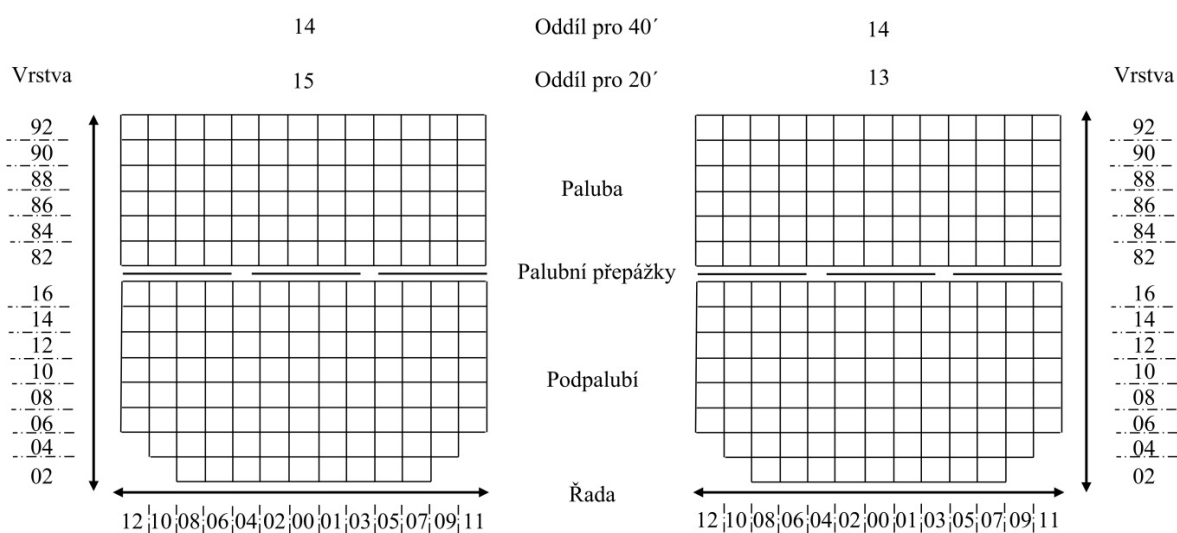


palubní přepážky směrem nahoru sudými čísly (obvykle se začíná od čísla 80 nebo 82) a taktéž sudými čísly mezi dnem lodě a palubní přepážkou, tedy v podpalubí (obvykle se začíná číslem 02). Toto indexování je porušováno v případě, že jsou stohovány High Cube kontejnery.



Zdroj: Autoři

Obr. 2 - Systém oddílů-řad-vrstev (podélný řez kontejnerové lodi a letecký pohled)



Zdroj: Autoři

Obr. 3 - Zobrazení kontejnerové lodi pro potřeby stohovacího plánu (příčný řez kontejnerové lodi)

## **4. PRAVIDLA STOHOVÁNÍ A PLAVBYSCHOPNOST LODI**

### **4.1 Omezení dle typu kontejneru**

Pro jednotlivé typy kontejnerů platí při zpracování plánu stohování následující pravidla (7):

- Standardní kontejner 40' odpovídá v plánu stohování ekvivalentu dvou standardních kontejnerů 20'. Pokud je 40' stohován do 40' slotu (např. 140406), odpovídají mu dva 20' sloty (slot 130406 a slot 150406), jež jsou tím pádem obsazeny a nejsou dostupné pro stohování 20'.
- Pouze 40' může být stohován na dva 20'. Oproti tomu dva 20' nemohou být stohovány na jeden 40' (výjimka platí pouze v případě, pokud jsou dva 20' uloženy v podpalubí a přilehlé sloty jsou vyplněny kontejnery, případně se speciálními proložkami). Totéž platí pro kontejnery převážející nebezpečné zboží a reefer kontejnery.
- Pouze v podpalubí je dovoleno kombinovat 20' a 40' do jedné vrstvy. Rovněž nemůže být stohován pouze jeden 20' do nejvyšší pozice vrstvy, a to z důvodu bezpečnosti uložení.
- V případě, že je na lodi stohován jeden nebo více 40' High Cube (40' HC), jsou stohovány do řad v podpalubí a nejvyšší slot v této řadě musí vždy zůstat prázdný. Pro minimalizaci kolize slotů v podpalubí by měli být 40' HC stohovány ve více vrstvách nad sebou, jelikož je 40' HC téměř identický ke standardnímu 40', jen je o jednu stopu vyšší.
- Reefer kontejnery jsou využívány pro přepravu zboží citlivého na změnu teploty. Z tohoto důvodu musí být stohovány na lodi ve slotech, které jsou vybaveny elektrickou zásuvkou. Tyto sloty se vyskytují na lodi v menším počtu a mají své pevné místo. Jejich využití standardními kontejnery by mělo být minimalizováno. Umístění např. flexitanků musí zohledňovat umístění reefer kontejnerů, aby nemohlo dojít k poškození agregátů.
- Kontejnery s nebezpečným zbožím musí být vždy podrobeny odděleným prohlídkám, které zajišťuje rejdař. Kontejnery s nebezpečným zbožím by měly být stohovány mimo ubytovací kajuty a zdroje tepla (motor, palivové nádrže).

### **4.2 Provozně operační omezení**

Pro kontejnery a kontejnerovou loď platí při zpracování plánu stohování dále tyto následující pravidla (8):

- Žádný kontejner nesmí tzv. viset volně ve vzduchu, neboli slot pod kontejnerem nemůže zůstat prázdný.
- Nejtěžší kontejnery jsou stohovány do spodní části lodě (dno) a naopak nejlehčí jsou stohovány na palubu do nejvyšších vrstev. Váha kontejneru stohovaného na pozici ve vrstvě nesmí být větší než váha kontejneru umístěného ve stejné vrstvě pod ním a mající stejnou řadu a oddíl.
- Celková váha všech kontejnerů v jednom stohu nesmí přesáhnout stanovený váhový limit. Tento limit je specifikován dle struktury lodí a liší se dle oddílů a řad.
- Vrstva kontejnerů na palubě nesmí bránit výhledu kapitána z můstku a musí splňovat určitý úhel výhledu.

- Pro plavby schopnost lodi je důležité zajistit samotnou stabilitu lodi, jež je prováděna matematickými výpočty, a to jak během, tak i poté co loď ukončí vykládku/nakládku. Dobře vyvážená stabilita lodi je důležitá pro vyvarování se náklonů na jakýkoliv bok a případné ztráty převážených kontejnerů. Mezi dále prověřované aspekty náleží např. moment ohýbání (síly pracující mezi přídí a zádí) a kroucení (síly pracující z levoboku na pravobok). Tyto síly jsou produkovány nerovnoměrně a mohou ovlivnit fyzikální strukturu lodi, jež následně ovlivňuje plavby schopnost lodi. Mezi další důležité ukazatele, jež je nutné sledovat, náleží hloubka ponoru, což je vzdálenost mezi kýlem lodi (dno) a čarou ponoru. Čára ponoru je linie sledující úroveň, kterou dosáhne voda trupu lodi.

## 5. PŘÍKLADOVÁ STUDIE

Jelikož je plán stohování komplexní problém, je v tomto příspěvku pro lepší pochopení posloupnosti principu plánu stohování předvedena praktická příkladová studie. Pro příkladovou studii provedení plánu stohování je zvolena fiktivní kontejnerová loď s kapacitou 4 400 TEU. Tato kontejnerová loď bude převážet kontejnery na transatlantické lince mezi západním Středomořím a USA, kde jsou kontejnerové lodě s kapacitou 4 000-6 000 TEU běžně využívány. Podrobná specifikace všech důležitých údajů týkajících se lodi a linky je uvedena v Tab. 2. Profil a uspořádání kontejnerové lodi se z velké části shoduje s kontejnerovou lodí zobrazenou na Obr. 2. Počet kontejnerů překládaných v jednotlivých přístavech rotace je zobrazen v Tab. 3. Pro účel identifikace místa nakládky/vykládky kontejnerů je v příkladové studii využito zkratk jednotlivých přístavů rotace lodi. V rámci příkladové studie byl vybrán pro plán stohování (nakládku) přístav Algeciras, přesněji APM Terminal. V tomto terminálu je celkově naloženo 1 851 TEU. V příkladové studii je zobrazen a popsán pouze malý průřez nakládky/vykládky kontejnerů z celkového počtu překládaných kontejnerů v tomto terminálu.

Jednotlivé kroky potřebné při zpracování a provedení plánu stohování v přístavu Algeciras jsou chronologicky představeny v následujících bodech.

Tab. 2 - Údaje kontejnerové lodi k příkladové studii

Rejdař	Název servisu	Kapacita lodí (TEU)	Počet lodí na lince
MAERSK / CMA-CGM	AMERIGO EXPRESS	4 253 – 4 573	6
Rotace (hlavní přístavy) <sup>6</sup>	Barcelona (BCN) – Genoa (GOA) – Algeciras (ALG) – Savannah (SAV) – Norfolk (ORF) – New York (NYC) – Barcelona (BCN)		

Zdroj: Autoři a (9)

<sup>6</sup> Pro příkladovou studii je použit upravený model existující rotace lodi, vč. zjednodušení využití šesti přístavů místo jedenácti. Správná rotace lodí zahrnuje přístavy: Malta – Livorno – Genoa – Fos – Barcelona – Valencia – Tanger – New York – Norfolk – Savannah – Algeciras – Malta. Servis obsluhuje šest lodí obou rejdařství dohromady.



Tab. 3 - Nakládka/vykládka jednotlivých přístavů a počty kontejnerů (TEU)

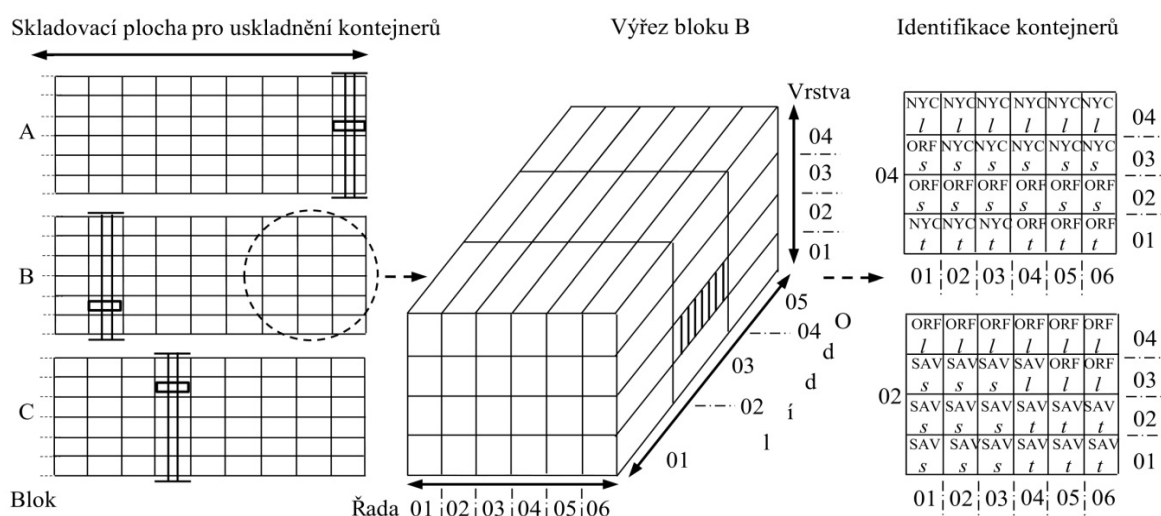
Přístav	BCN	GOA	ALG	SAV	ORF	NYC	BCN
Vykládka	1205	1029	1869	1792	821	1903	1258
Nakládka:	1195	1205	1851	1257	1141	2023	1205
z toho 20'	315	321	425	287	217	401	298
z toho 40'	590	566	910	566	504	1038	570
z toho 40' HC	280	306	484	388	410	564	328
z toho RF*	10	6	20	6	8	12	3
z toho DG*	-	6	12	10	2	8	6

\* RF - reefer kontejnery (20' a 40'), DG - kontejnery s nebezpečným zbožím (20' a 40')

Zdroj: Autoři

### 5.1 Kontejnery ve skladovací ploše pro uskladnění kontejnerů

Při započetí plánu stohování jsou nejprve determinovány nakládkové/vykládkové sekvence každého kontejneru nacházejícího se ve skladovací ploše pro uskladnění kontejnerů v terminálu (SPPUK) a zároveň vykládkové/nakládkové sekvence každého slotu v lodi. Při tomto procesu je využito skladovací plochy pro uskladnění kontejnerů, jež je zobrazena na Obr. 4. V rámci zobrazení uložení kontejnerů v SSPUK je vybráno umístění kontejnerů v bloku B, v oddílu 02 a 05, viz Obr. 4. Kontejnery z oddílu 02 budou přeloženy z SSPUK na kontejnerovou loď a dále zobrazeny v rámci příkladové studie v Tab. 4 a na Obr. 9.



Zdroj: Autoři

Obr. 4 - Skladovací plocha kontejnerů v terminálu a zobrazení pro plán stohování

Zobrazení umístění kontejneru v SPPUK je prováděno za pomoci systému blok-oddíl-řada-vrstva. Praktickým příkladem může být udání pozice B-03-06-02, která indikuje, že 20' kontejner je umístěn v bloku B, oddílu 03, řadě 06 a vrstvě 02 (na Obr. 4 je tato pozice vyznačena šrafovaně). V rámci zobrazení pro plán stohování je taktéž u každého skladovaného kontejneru zobrazena jeho destinace<sup>7</sup>, váhová skupina a v některých případech i

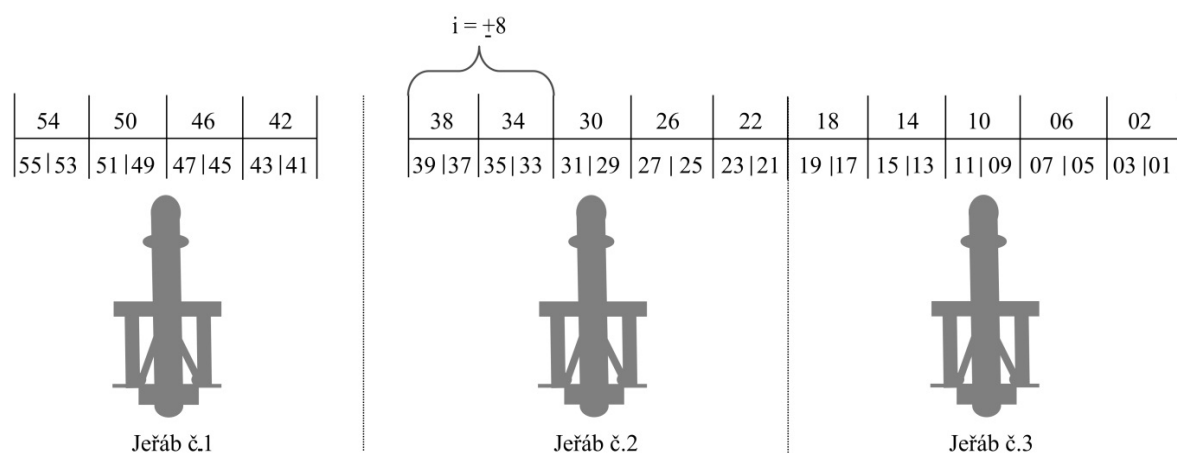
<sup>7</sup> Destinace vychází z bookingu kontejneru rejdarem a je důležitou součástí procesu uskladnění.

typ kontejneru. Obecně jsou používány tři třídy klasifikace hmotností kontejnerů, někdy jsou však vedené pouze dvě. Jedná se o tzv. lehkou váhu (5 – 15 tun), střední váhu (15 – 25 tun) a těžkou váhu (nad 25 tun), případně dvě kategorie s hranicí 18 tun. Pro tento model plánu stohování jsou na Obr. 4 značeny tři klasifikace hmotností, a to *l* (lehký), *s* (střední) a *t* (těžký) kontejner. V praxi jsou kontejnery stejné velikosti, typu a místa přístavu určeny stohovány do skupin pro jejich rychlejší a snadnější dostupnost, a taktéž pro zvýšení rychlosti manipulací a snížení časových ztrát a nákladů.

## 5.2 Překládkové operace jeřábů na nábrežní hraně

V prvním kroku plánu stohování jsou vybrány kontejnery uložené v SSPUK určené k překládce. Jako druhý krok posloupnosti musejí být zvoleny jeřáby, které budou vykonávat překládku kontejnerů z nábrežní hrany do vybraných slotů na lodi. Přesunem kontejnerů mezi SSPUK a nábrežní hranou, kde jsou jeřáby sloužící pro překládku kontejnerů na loď, se tato příkladová studie nezabývá. Její popis a analýzu lze možno najít v (1).

Kontejnerová loď je vždy při nakládce a vykládce obsluhována určitým počtem nábrežních jeřábů, jejichž počet se obvykle pohybuje mezi 3-6. Pro případ příkladové studie jsou kontejnerové lodi na nábrežní hraně přiřazeny 3 jeřáby, jež budou obsluhovat stanovené oddíly zobrazené na Obr. 5. Jedná se o jeřáby typu Post-Panamax s dosahem až 46 metrů (23 řad kontejnerů na palubě), se zdvihem do výšky 60 m nad hladinou, vybavené jedním trolejovým vozíkem s jedním spreaderem. Každému z těchto jeřábů, jež provádí překládku, je na nábrežní hraně přidělen oddíl *i*. Oddíly jednotlivých jeřábů mezi sebou vzájemně hraničí, a tudíž je z důvodů provedení hladkého průběhu překládky a zamezení kolize mezi jeřáby, vždy mezi dvěma sousedícími jeřáby stanovena mezera, jejíž rozměr je definován následovně. Pokud jeřáb pracuje v daném oddílu, sousedící jeřáb musí pracovat vždy v oddílu  $i = \pm 8$  nebo dále. Oddílem se myslí v tomto případě oddíl kontejnerové lodi, viz Obr. 5. V případě, kdy jsou si dva sousedící jeřáby příliš blízko navzájem, musí jeden z jeřábů vyčkat do té doby, dokud druhý jeřáb nedokončí svou práci a nepřesune se do bezpečné vzdálenosti ( $i = \pm 8$ ). Tato čekací doba neboli prostoj se nazývá „nečinný čas jeřábu“.



Zdroj: Autoři

Obr. 5 - Přidělení jeřábů kontejnerové lodi s vyčleněním oddílů

V souvislosti s nečinným časem jeřábu se měří kvalita obsluhy přidělených jeřábů lodi na nábrežní hraně tzv. intenzitou jeřábu ( $IJ$ ). Tato intenzita je dle (2) kalkulována následovně:

$$T_{i-\text{čas kompletace}} = T_{i-\text{čas práce}} + T_{i-\text{čas nečinnosti}} + T_{i-\text{čas pohybu}} \quad (1)$$

kde:  $T_{i-\text{čas práce}} \dots$  označuje celkový čas jeřábu  $i$  strávený nakládkou a vykládkou kontejnerů [hod],

$T_{i-\text{čas nečinnosti}} \dots$  označuje celkový čas jeřábu  $i$  strávený čekáním/prostojem [hod],

$T_{i-\text{čas pohybu}} \dots$  označuje celkový čas jeřábu  $i$  strávený přesunem z jednoho oddílu do druhého [hod]. V případě, že jeřáby neobsluhují pouze jeden oddíl, musí se přesunout do dalšího oddílu po skončení nakládky/vykládky v předchozím oddílu,

proto:  $T_{i-\text{čas kompletace}} \dots$  označuje celkový čas jeřábu  $i$  strávený kompletací nakládky a vykládky všech přidělených kontejnerů [hod].

Z toho vyplývá, že intenzita jeřábu je definována následovně:

$$IJ = \frac{\sum_{i=1}^n T_{i-\text{čas práce}}}{T_{max}} \quad (2)$$

kde:  $T_{max} \dots$  označuje nejdelší čas provedení operací jeřábem [hod],

proto:  $T_{max} = \max\{T_{i-\text{čas kompletace}} | i = 1, 2 \dots n\}$  napříč  $n$  jeřábů alokovaných k lodi u nábrežní hrany.

Optimálně zvolená  $IJ$  (spjatá s počtem přiřazených jeřábů) indikuje, že překládkové operace jeřábů jsou rovnoměrně prováděny s minimem pohybů a prostojů, tudíž je zachována plynulost provádění plánu stohování. Délka ukotvení lodi u nábrežní hrany je tak vázána především na správné přidělení jeřábů překládkovým operacím.

Tato studie se zaměřuje pouze na nakládkovou činnost jeřábu č. 3, který obsluhuje oddíl 14 pro 40', což znamená, že operace vykládky a přestohování jsou popsány pouze okrajově. Ukázkový seznam nakládkové sekvence (pořadí přidělených úkonů jeřábu) kontejnerů je zobrazen v Tab. 4.

Tab. 4 - List nakládkových sekvencí nábrežního jeřábu č. 3

Číslo nábrežního jeřábu	Číslo úkonu	Identifikační číslo kontejneru	Umístění kontejneru v SPPUK	Umístění kontejneru na lodi	Paluba/podpalubí	Typ kontejneru
3	1	MRKU0384759	B-02-06-02	14-05-10	podpalubí	40'
3	2	TGHU4346004	B-02-05-02	14-07-10	podpalubí	40'
3	3	CMAU8203360	B-02-04-02	14-09-10	podpalubí	40'
3	4	ECMU4434276	B-02-06-01	14-05-12	podpalubí	40'
3	5	MSKU6420222	B-02-05-01	14-07-12	podpalubí	40'
3	6	MSKU6354820	B-02-04-01	14-09-12	podpalubí	40'
3	...*	...	...	...	...	...
3	...	MSKU1589837	C-06-01-03	14-11-12	podpalubí	40' HC
3	...	MRKU3549446	C-06-01-01	14-11-14	podpalubí	40' HC
3	...*	...	...	...	...	...

### 5.3 Přestohování kontejnerů

S ohledem ke struktuře kontejnerové lodi jsou kontejnery stohovány do vertikálních stohů. Může tak docházet k situaci, kdy musí být vyložen kontejner, nad kterým se ve stejné vrstvě vyskytuje jiný kontejner (v případě umístění kontejneru na palubě). Pokud je kontejner stohován pod některou z palubních přepážek, musí být tato otevřena, odložena stranou, a všechny kontejnery stohované nad přepážkou musí být taktéž vyloženy. V plánu stohování se tak může vyskytnout situace (v rámci příkladové studie), že v přístavu ALG se vyskytuje kontejner pro přístav SAV (následuje po ALG), který musí být vyložen a zpět naložen v přístavu ALG za účelem přístupu ke kontejneru pod ním, který se zde vykládá. Tento pohyb se nazývá „přestohování“ neboli nucená překládka. Další situací, jež může rovněž nastat, je ta, že ačkoliv kontejner s přístavem určení SAV neblokuje žádný kontejner s přístavem určení ALG, rozhodne se plánovač tento kontejner vyložit a naložit zpět, aby tak přešel nákladné překládce v následném přístavu z důvodu dalších níže uložených kontejnerů, nebo pro hmotnostní parametry. Tato překládka je provedena s přeložením mimo loď (na nábrežní hranu), nebo v případě krátkého odložení na jiné kontejnery v manipulovaném oddílu. Tento pohyb se nazývá dobrovolnou překládkou. Jelikož se obvykle pohybuje částka za překládku kontejneru od několika desítek až po několik stovek dolarů, dle tarifu terminálu, je žádoucí se takovýchto pohybů co nejvíce vyvarovat. Navíc tyto překládkové operace zvyšují nepotřebnou pracovní náplň plánu stohování a prodlužují kotvení lodi v přístavu. Ke snížení počtu přestohování/překládek se využívá jednoduchý princip, kdy jsou v přístavu ALG nejdříve nakládány kontejnery s nejbližším přístavem v rotaci lodi, tedy v případě studie kontejnery s přístavem určení GOA, následně probíhá nakládka kontejnerů s druhým nejbližším přístavem určení (GOA-1) atd. Na závěr jsou nakládány kontejnery s přístavem určení ALG+1 (následující přístav po přístavu ALG). Tento proces je však více smysluplný pouze s dopředným plánováním i dle bookingů v dalších přístavech, neboť pouze tak se minimalizují manipulace pro celou rotaci lodí.

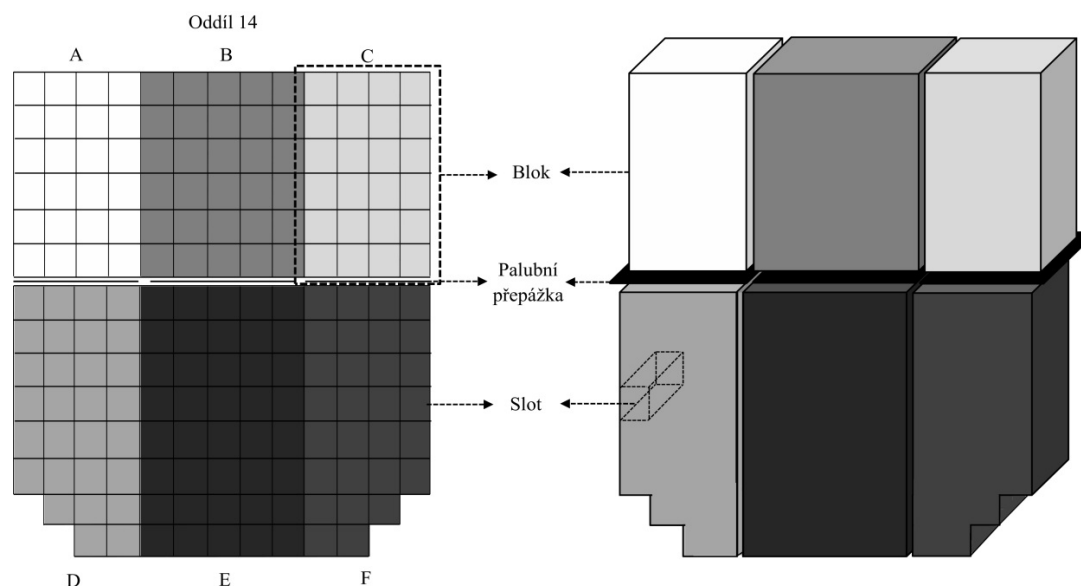
### 5.4 Procedura (algoritmus) umístění kontejneru na lodi

V souvislosti s umístěním kontejnerů na lodi je potřeba zmínit, jak ovlivňují palubní přepážky nakládku/vykládku kontejnerů. Ty je nutno zahrnout do plánu stohování a zároveň musí být dodržena tato omezení:

- všechny vykládkové operace daného bloku v podpalubí pro daný oddíl nemohou započít, dokud nejsou všechny vykládkové operace daného bloku umístěného nad ním (na palubě) ukončeny,
- všechny nakládkové operace daného bloku na palubě pro daný oddíl nemohou započít, dokud nejsou ukončeny všechny nakládkové operace bloku umístěného pod ním (v podpalubí).

Při procesu je přitom nutno zachovávat principy související s vyvážením lodi (manipulace na obou bocích), počítat s velikostí přepážky, i s obecnou minimalizací pohybů jeřábů a přesunů kontejnerů.

V rámci případové studie je vždy řešen na kontejnerové lodi oddíl 14. Na Obr. 6 je znázorněno, jak palubní přepážky rozdělují tento oddíl do několika bloků. Toto členění oddílu do bloků, zvolené pro případovou studii, představuje jedno z několika možných řešení, jež bývají v praxi využívána. Pro případovou studii bylo zvoleno rozdělení oddílu 14 do 6 bloků (A, B, C, D, E a F). Toto členění platí i pro většinu ostatních oddílů na kontejnerové lodi zvolené pro příkladovou studii.



Zdroj: Autoři

Obr. 6 - Zobrazení bloků v oddílu 14

Procedura, jež je dopředu plánována ještě před příplutím lodi do ALG (viz kapitoly 1. a 2.), se celkově skládá z kroků vykládky, překládky a následného umístění kontejnerů do slotů na lodi s algoritmizací (též Obr. 7):

1. Výběr skupiny kontejnerů, připravených na terminále pro daný přístav určení. První je vybrán poslední přístav „n“(GOA), následně „n-1“ (BCN), až po první následující (SAV).
2. Alokace oddílů pro daný přístav určení s parametrizací dle počtů jednotlivých typů kontejnerů, hmotností a již dopředně umístěných a dále plánovaných kontejnerů.
3. Zvolení oddílu, ve kterém bude probíhat vykládka nebo nakládka kontejnerů pro daný přístav určení.
4. Určení vykládkových a nakládkových bloků A (resp. D), B (resp. E) nebo C (resp. F) dle vybraného oddílu pro vykládku nebo nakládku kontejnerů.
5. Vykládka zvoleného bloku na palubě (A, B nebo C), ve kterém se nacházejí kontejnery pro ALG, vč. odložení kontejnerů v případě, že jsou určeny pro další přístavy.
6. V případě potřebných operací s blokem v podpalubí (D, E, nebo F) pokračujeme bodem 7., v opačném případě bodem 11.
7. Odložení palubní přepážky mezi zvolenými bloky (A a D, B a E nebo C a F) v případě potřeby vykládky a nakládky kontejnerů z/do podpalubního bloku.
8. Vykládka kontejnerů pro ALG ze zvoleného podpalubního bloku (D, E nebo F), vč. případných přesunů a odložení kontejnerů v případě, že jsou určeny pro další přístavy.



9. Nakládka kontejnerů pro daný přístav určení do zvoleného podpalubního bloku (D, E nebo F), vč. pro něho odložených kontejnerů.
10. Vracení palubní přepážky nad zvolený podpalubní blok (D, E nebo F).
11. V případě potřeby nakládka bloku nacházejícího se nad zvoleným podpalubním blokem (A, B nebo C) pokračujeme bodem 12., v opačném případě bodem 13.
12. Nakládka kontejnerů pro daný přístav určení do zvoleného bloku (A, B nebo C), vč. pro něho odložených kontejnerů.
13. V případě potřebných operací s dalšími bloky v daném oddílu pokračujeme bodem 4., v opačném případě bodem 14.
14. Proces pokračuje bodem 15., pokud jsou vyčerpány veškeré oddíly pro daný přístav určení, nebo bodem 3. s dalším oddílem.
15. Proces pokračuje znovu bodem 1. pro další přístav určení, až do vyčerpání všech přístavů routingu, tedy až po následný přístav (v našem případě SAV). Zde jsou všechny manipulace s kontejnery u konce.

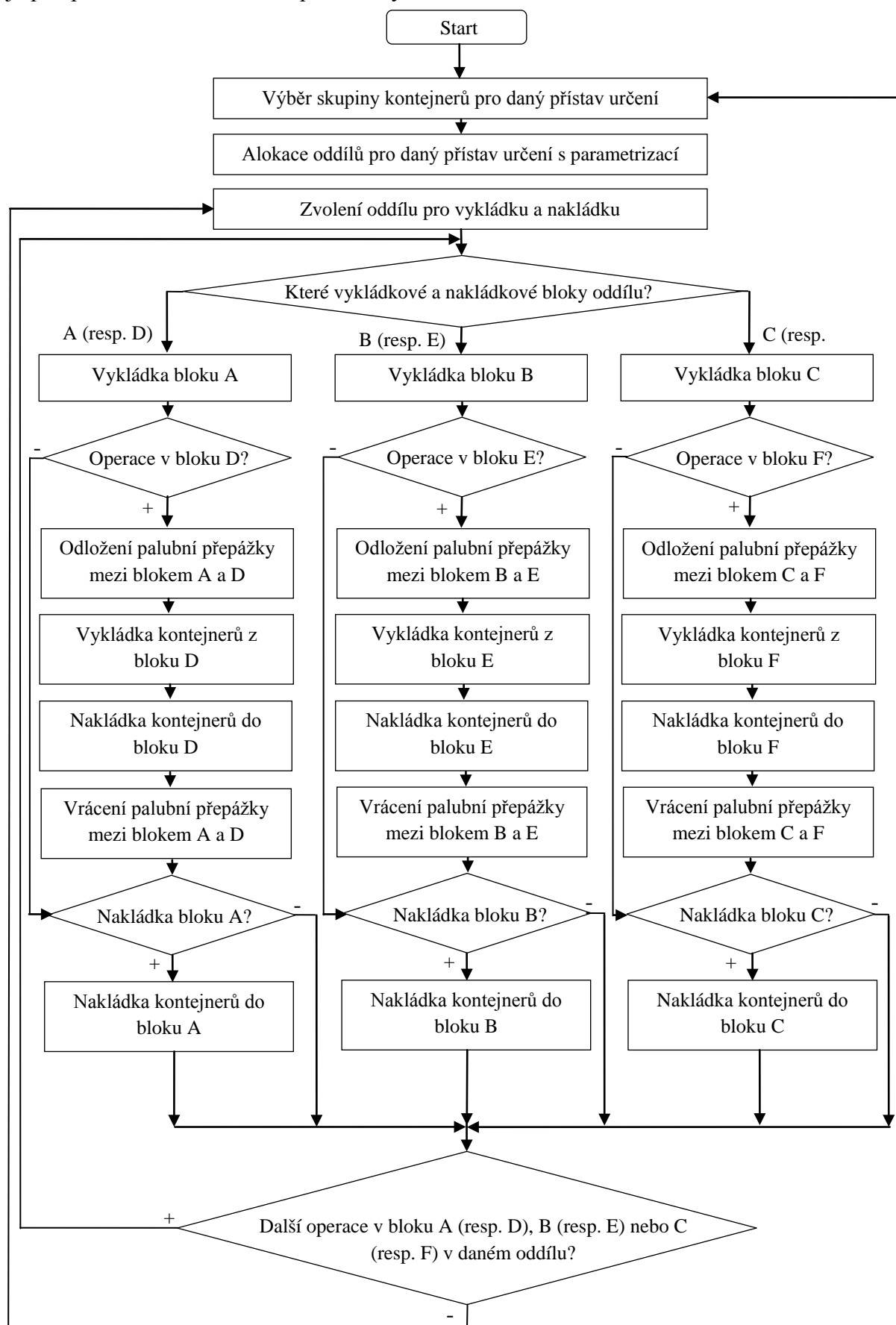
Daný princip algoritmu pracuje s dopřednými informacemi zpracovávanými včas pro všechny přístavy, kdy dochází k eliminaci, nebo značné minimalizaci, následných více-manipulací s kontejnery v dalších přístavech daného servisu. Z tohoto důvodu může algoritmus popsat postup manipulací vždy pro jednotlivý přístav v rámci slotů a bloků, bez cyklického zjišťování stavu pro další přístavy (především v podpalubí), neboť tyto kontejnery jsou shromažďovány ve vybraných lokacích. Na druhou stranu dochází k zjišťování existence kontejnerů pro daný přístav, kde loď kotví, ve všech slotech a blocích. Zároveň je třeba zopakovat, že toto řešení je pouze jedním z řady, neboť způsoby algoritmizace se v čase vyvíjejí a jednotlivá řešení souvisejí s dostupnými možnostmi.

## **5.5 Zobrazení vykládky a nakládky v rámci plánu stohování**

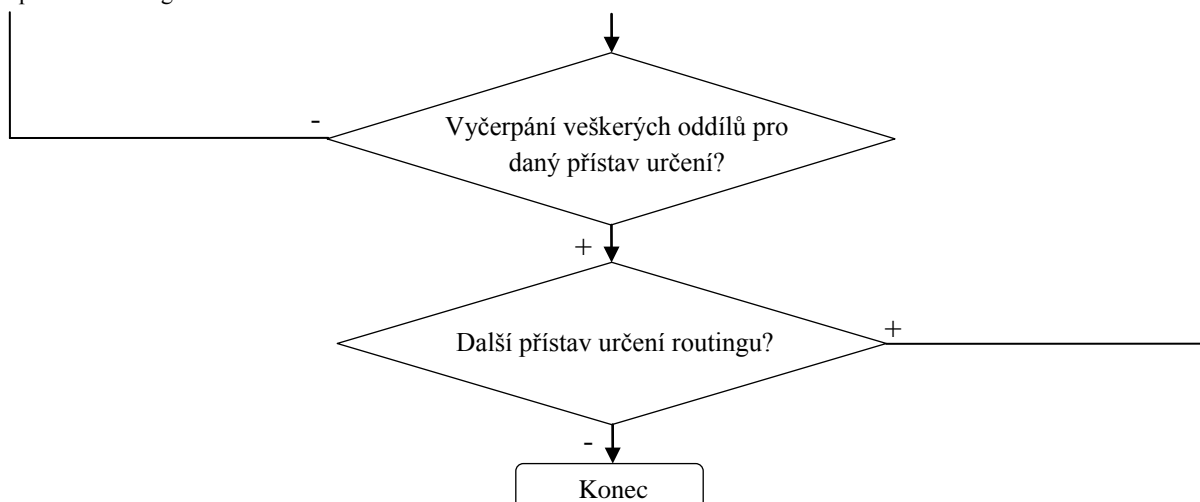
V rámci příkladové studie je taktéž důležité okrajově zmínit, jak probíhá samotná vykládka/překládka v rámci plánu stohování. Ve většině případů je prováděna nejprve vykládka/překládka (bloku, oddílu), poté mohou teprve započít nakládkové operace. Při vykládce/překládce je využíváno přiřazení priority vykládky/překládky jednotlivým kontejnerům (stupňování důležitosti od 1). Tyto priority přiřazuje kontejnerům plánovač v závislosti na situaci v SSPUK, dle situace na nábrežní hraně, případně dle dalších, převážně ekonomických aspektů. Příklad takové vykládky v rámci příkladové studie v přístavu ALG je zobrazen na Obr. 8. a jedná se opět o oddíl 14. Kategorie priority je zobrazena v pravém dolním rohu každého slotu, v levém horním rohu je zobrazeno pořadové číslo sekvence vykládky. Sloty s pomlčkou zobrazují kontejnery, jež nejsou v přístavu ALG vykládány/překládány.

V rámci celé procedury manipulací s kontejnery v rámci oddílů (a bloků), je každému kontejneru přidělena přesná pozice na lodi, slot. Slot souvisí s přesným umístěním a je zahrnut v plánu (viz kapitoly 3. a 4.). V rámci příkladové studie je zobrazen na Obr. 9 oddíl 14., kde je přesně specifikováno umístění každého kontejneru dle přístavu určení (zde SAV, ORF, NYC), velikostí a typu. Na základě tohoto zobrazení v rámci plánu stohování (Obr. 9) je prováděna nakládka kontejnerů, jedná se o tzv. Final load plan. Posloupnost provedení

jednotlivých úkonů závisí především na obsluze jeřábů a na pokynech terminálu. Na Obr. 10 je pak pro názornost zobrazen prostorový řez oddílem 14.



- pokračování algoritmu na další straně



Zdroj: Autoři

Obr. 7 - Algoritmus procesu překládky

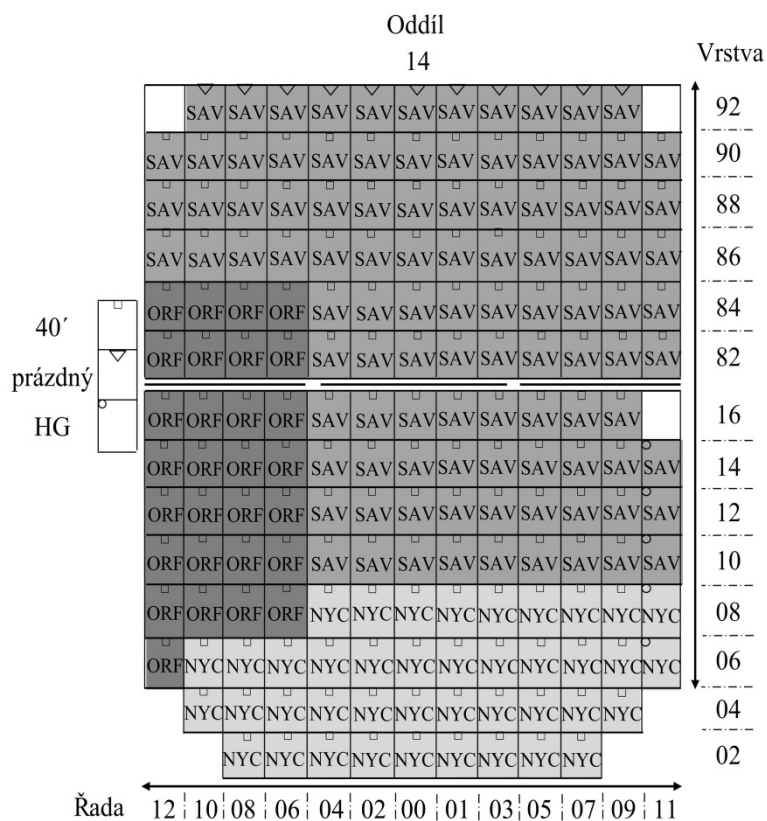
Oddíl  
14

	15	18	21	71	73	75	77	79	7	1	12	→	
	1	1	2	2	2	2	2	2	3	1	2	92	
33	16	19	22	72	74	76	78	80	8	2	13	48	90
	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	2	
34	17	20	23	81	83	85	87	89	9	3	14	49	88
	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	
35	24	27	30	82	84	86	88	90	10	4	53	50	86
	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	3	3	
36	25	28	31	91	93	95	97	99	11	5	54	51	84
	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	3	3	
37	26	29	32	92	94	96	98	100	56	6	55	52	82
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	1	3	3	
—	38	40	44	101	104	107	110	113	57	61	65		16
	1	1	1	1	3	3	3	3	2	2	2		
—	39	41	45	102	105	108	111	114	58	62	66	69	14
	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
—	—	42	46	103	106	109	112	115	59	63	67	70	12
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
—	—	43	47	124	116	118	120	122	60	64	68	—	10
		1	4	4	3	3	3	3	3	3	3		
—	—	—	—	125	117	119	121	123	—	—	—	—	08
				4	4	4	4	4					
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	06
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	04
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	02

← Rada 12 | 10 | 08 | 06 | 04 | 02 | 00 | 01 | 03 | 05 | 07 | 09 | 11 →

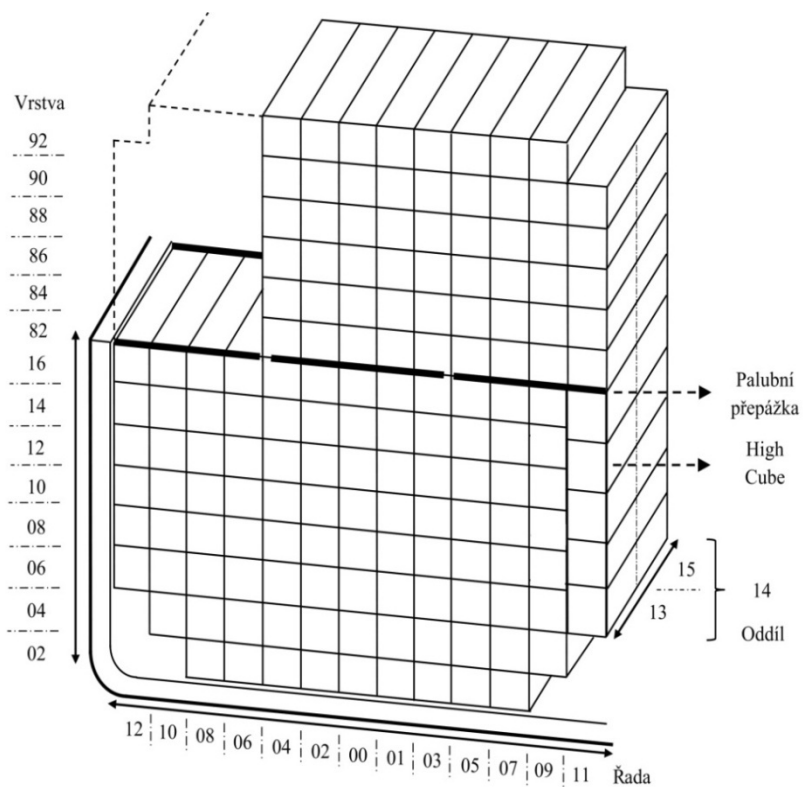
Zdroj: Autoři

Obr. 8 - Vykládková sekvence (zobrazení přiřazení priority)



Zdroj: Autoři

Obr. 9 - Zobrazení plánu stohování (nakládka)



Zdroj: Autoři

Obr. 10 - Řez oddílem 14  
(zobrazení kontejnerů pomocí 3D zobrazení)

Jak vyplývá z příkladové studie, cyklus plánu stohování, se opakuje v každém dalším přístavu ve stejném pořadí, s určením jednotlivých parametrů. Obecný předpoklad použitelnosti vyplývá z provázanosti těchto činností a dopředného využívání dat.

## ZÁVĚR

Cílem plánování umístění kontejnerů na kontejnerových lodích je z pohledu rejdaře dosažení účelové funkce, která minimalizuje počet pohybů s kontejnery během pobytu lodí v přístavu a maximalizuje využití kapacit lodního prostoru. Jedná se o vždy o sub-optimální řešení, které využívá znalostní báze, dopředné podávání informací, informační technologie a znalosti kontejnerových lodí i terminálů v přístavech, které jsou plavidly obsluhovány. Dobrý plán umožňuje maximalizovat využití stohovacího místa na lodi, jež následně umožňuje převážet více kontejnerů na lodi a zároveň limituje přebytečné pohyby s kontejnery. Také umožňuje maximalizaci využití nábrežních jeřábů, jež mohou operovat ve stejnou dobu, což zajišťuje kratší kotvení lodí u nábrežní hrany. Nicméně dobrý plán stohování není jednoduché vygenerovat, protože závisí především na plánovačích, jejich zkušenostech a intuici. Moderní technologie, algoritmizace všech postupů a spolupráce s rejdaři, terminály a dalšími dotčenými subjekty zlepšuje optimalizaci jejich plánů. Přesné plány a způsoby algoritmizace přitom zůstávají tajemstvím jednotlivých rejdařů, pro které plánovači pracují.

## POUŽITÁ LITERATURA

- (1) MAREK, O., BARTOŠEK, A.: Logistické operace v rámci překládky kontejnerů v námořních přístavech. *Perner's Contacts*, 2011, roč. 6, č. 4, str. 249-260, ISSN 1801-674X.
- (2) LOW, M., XIAOA, X., LIUA, F., HUANGA, S., HSU, W.: An Automated Stowage Planning System for Large Containerships. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, 17–19. květen 2010, roč. 3, s. 35-43.
- (3) PACINO, D.: *Fast Generation of Container Vessel Stowage Plans*. Ph.D. Thesis. IT University of Copenhagen, 2012. 140 s. [online]. c2012 [cit. 2012-10-21]. Dostupné z <[www.itu.dk/.../21B71C7F588D40D9AC46C9C7.pdf](http://www.itu.dk/.../21B71C7F588D40D9AC46C9C7.pdf)>.
- (4) GADEYNE, B., VERHAMME, P.: *Optimizing Maritime Container Terminal Operations*. Master Thesis. Ghent University, 2011, 112 s. [online]. c2012 [cit. 2012-10-21]. Dostupné z <[http://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/001/788/579/RUG01-001788579\\_2012\\_0001\\_AC.pdf](http://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/001/788/579/RUG01-001788579_2012_0001_AC.pdf)>.
- (5) MAREK, O., BARTOŠEK, A.: Námořní kontejnerové lodě. *Perner's Contacts*, 2012, roč. 7, č. 3, str. 153-165, ISSN 1801-674X.
- (6) NING, Z., WEIJIAN, M.: A Model for the Stowage Planning of 40 Feet Containers at Container Terminals. *International Journal of Information Systems for Logistics and Management*, 2009, roč. 4, č. 2, s. 41-49. ISSN 1742-7967.
- (7) AMBROSINO, D., SCIOMACHEN, A.: Stowing a containership: the master bay plan problem. *Transportation Research Part A*, 2004, roč. 38, č. 58, s. 81-99. ISSN 1361-9209.



- (8) WILSON, I., ROACH, P.: Container stowage planning: a methodology for generating computerised solutions. *Journal of the Operational Research Society*, 2001, roč. 51, č. 51, s. 48-59. ISSN 1248-1255.
- (9) *Lines Services – Amerigo Express*. [online]. c2012 [cit. 2012-10-21]. Dostupné z <<http://www.cma-cgm.com/ebusiness/schedules/linerservices/Service-Sheet.aspx?Servicecode=AMEREX>>.

*Príspevek vznikl v rámci projektu SGS ČVUT „Logistické operace v rámci překládky kontejnerů“ (SGS11/139/OHK2/2T/16).*