



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA DOPRAVNÍ

Svetlana Lisniak  
LOGISTIKA ZÁSOBOVÁNÍ MĚST LNG V AUTONOMNÍ  
REPUBLICCE SACHA

Bakalářská práce

**2015**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní  
d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

**K617 ..... Ústav logistiky a managementu dopravy**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Svetlana Lisniak**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – MED – Management a ekonomika dopravy a telekomunikací**

Název tématu (česky): **Logistika zásobování měst LNG v autonomní republice Sacha**

Název tématu (anglicky): Supply Logistics Cities LNG in the Autonomous Republic of Sakha

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Analýza situace v republice Sacha
- Charakteristika LNG
- Návrh logistického systému
- Ekonomické zhodnocení
- Závěry a doporučení

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: DUCHOŇ, B., L.ZELENÝ. Inženýrská ekonomika. Praha: C. H. Beck, 2007. ISBN 978-80-7179-763-0.  
SVOBODA V., P.Latýn. Logistika. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 978-800-1027-356.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Zdeněk Říha, Ph.D.**  
**Ing. Ondřej Smíšek**

Datum zadání bakalářské práce:

**30. června 2014**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

**24. srpna 2015**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



*Moos*

prof. Ing. Petr Moos, CSc.  
vedoucí

Ústavu logistiky a managementu dopravy

*Svíték*

prof. Dr. Ing. Miroslav Svíték  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

*Lisniak*

Svetlana Lisniak  
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....30. června 2014

## **Podekování**

Chtěla bych vyjádřit podekování Ing. Zdeňku Říhovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultování bakalářské práce.

Další poděkování patří Václavu Chrzovi, který mi průběžně poskytoval praktické informace, cenné připomínky a odborné rady při napsání této práce.

Dále dekuji společnosti Chart Ferox, a.s za poskytnuti informace a názorné představy práce společnosti.

## **Prohlášení**

Překládám k posouzení a obhajobě závěrečnou bakalářskou práci na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji tímto, že jsem zadanou bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Říhy, Ph.D a Václava Chrze a uvedla v seznamu literatury veškerou použitou literaturu a ostatní zdroje.

Nemám závazný důvod proti užití školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících autorským a o změně některých zákonu (autorský zákon).

V Praze dne \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

podpis

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá problematikou a podmínkami použití zkapalněného zemního plynu k pohonu silničních vozidel, jako alternativní motorové plynné palivo. Popsaná základní koncepce logistického zásobování měst LNG v republice Sacha a její ekonomické ohodnocení.

## **ABSTRACT**

This work names problems and states the conditions connected with the usage of liquefied natural gas by road vehicles, as an alternative to motor fuel gas. The basic concept of the supply chain management of towns of LNG in the Republic of Sakha and its economic evaluation are described.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

zkapalněný zemní plyn, alternativní palivo, LNG

## **KEYWORDS**

Liquefied natural gas, alternative fuel, LNG

# Obsah

Seznam použitých zkratk	6
Úvod	7
1. Analýza situace v republice Sacha	10
1.1. Poloha	10
1.2. Klima	10
1.3. Obyvatelstvo	14
1.4. Minerály	15
1.5. Využití zemního plynu v Jakutsku	16
2. Charakteristika LNG	18
2.1. Hlavní zvláštnosti modifikace vozidla na LNG motor	19
2.2. Rozvoj průmyslu LNG	21
3. Technická data – zadání	22
3.1. Spotřeba motorové nafty v současnosti	22
3.2. Propočtení na spotřebu zkapalněného zemního plynu LNG	24
4. Návrh logistického systému	26
4.1. Propočtení přepravního objemu	26
4.2. Návrh rozmístění zdrojů LNG (zkapalňovač)	26
4.3. Výpočet počtu vozidel	31
4.4. Spotřeba LNG jako paliva pro přepravu	33
4.5. Velikost skladu LNG u zkapalňovače	34
4.6. Velikost skladu LNG v cílových destinacích	34
5. Rozpočet nákladů pro systém zásobování LNG	38
5.1. Investiční náklady výrobce LNG	38
5.1.1. Zkapalňovací závod	38
5.1.2. Rozpočet - Cena - Rozpis pro zkapalňovač C100N (165 TPD)	38
5.1.3. Retenční sklad LNG u zkapalňovače	40
5.1.4. Celkové investiční náklady na systém výroby skladování a výdeje LNG	41
5.2. Provozní náklady výrobce LNG	41
5.2.1. Náklady na plyn pro zkapalňování	41
5.2.2. Náklady na pracovní síly	43
5.2.3. Celkové provozní náklady na jednotku výroby	44
5.3. Orientační odhad ceny LNG od výrobce LNG	44
5.4. Náklady na systém distribuce LNG	44
5.4.1. Plnicí stanice LNG	44

5.4.2.	Návěsné cisterny .....	45
5.4.3.	Dopravní prostředky dodavatele LNG – distribuční tahače .....	45
5.4.4.	Celkové investiční náklady na distribuci LNG .....	46
5.5.	Provozní náklady na distribuci LNG .....	46
5.5.1.	Řidiči .....	46
5.5.2.	Palivo pro tahače .....	46
5.5.3.	Odhad ceny od distributora LNG .....	46
6.	Rozbor nákladů u spotřebitele LNG .....	48
6.1.	Investiční náklady u spotřebitele.....	48
6.1.1.	Sklady u spotřebitele LNG .....	48
6.1.2.	Konverze dopravních prostředků u spotřebitele (důlní dumpéry).....	49
6.1.3.	Celkové investiční náklady u spotřebitele .....	49
	Závěr .....	51
	POUŽITÉ ZDROJE.....	53
	Literatura .....	53
	Internetové zdroje .....	53
	SEZNAM TABULEK .....	54
	SEZNAM OBRAZKU .....	55
	SEZNAM PŘÍLOH .....	56

## Seznam použitých zkratk

LNG	Liquefied natural gas	Zkapalněný zemní plyn
LPG	Liquefied petroleum gas	Propan – butan nebo také (dříve) zkapalněný plyn
CNG	Compressed natural gas	Stlačený zemní plyn
GPD	Gallons per day	Galon za den
TPD	Tonne per day	Tun za den
APEC	Asia-Pacific Economic Cooperation	Asijsko-pacifické hospodářské společenství



## Úvod

Celosvětová poptávka po LNG se v období posledních čtyřiceti let zvýšila několikanásobně a lze předpokládat, že bude mít i nadále vzestupnou tendenci. Rovněž objem dodávek zkapalněného zemního plynu bude permanentně narůstat vzhledem k vývoji praktického využití zkapalněného zemního plynu v rozvinutých zemích. V souvislosti s rozvojem infrastruktury v posledních letech a s výrobou světového objemu LNG se projevuje jasný trend přechodu od klasických pohonných hmot k alternativním palivům, především k LNG jako nejperspektivnějšímu typu motorového paliva.

Adekvátní alternativou zemního plynu v plynném skupenství je využívání zkapalněného zemního plynu, což přináší řadu výhod.

V souvislosti s touto problematikou vyvstává otázka: „Jaké jsou výhody zkapalněného zemního plynu?“ Lze konstatovat, že zkapalněný plyn je kryogenní kapalina s extrémně nízkou teplotou  $-161^{\circ}\text{C}$ . Díky těmto vlastnostem vyžaduje zvláštní přepravu i skladování. Tento typ paliva je nejlevnější formou paliva. Je levnější než motorová nafta a přitom jeho pohonná energie je vyšší než u jiných paliv. Vzhledem k jeho vlastnostem je poměrně snadné jej transportovat: ve zkapalněném stavu. Objem paliva klesá až 600krát. Specifická hmotnost zkapalněného zemního plynu je rovněž přijatelná - je dva a půlkrát lehčí než voda. Pokud dojde k zpětnému přechodu do plynného stavu, palivo nabývá obvyklých vlastností zemního plynu. Zkapalněný zemní plyn disponuje dalšími výhodami: je značně odolný proti výbuchu, a proto jsou bezpečnostní rizika minimální. Zkapalněný zemní plyn je metan, který se v případě nouze v krizových situacích velmi rychle odpařuje, je lehký a nehromadí se přimzemí a v podzemních prostorách, což omezuje nebezpečí výbuchu. Zkapalněný plyn je neexplodující, netoxický a nekoroduje kov. Lze jej považovat za nejšetrnější palivo vzhledem k životnímu prostředí, jelikož jeho spaliny nepoškozují životní prostředí a případně rozlití nekontaminuje půdu.

Odvětví dopravy je velkým spotřebitelem ropných paliv, a v důsledku toho se stává jedním z hlavních zdrojů toxického znečištění vzduchu a skleníkového plynu oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). Podle statistických údajů Evropské komise je evropské odvětví dopravy z 94 % závislé na ropných produktech, z nichž 84 % se do Evropy dováží. Denní platby za veškerý objem dovezené ropy činí 1 € mld. Denní provoz pozemní automobilové osobní i nákladní přepravy jak po pozemních komunikacích, tak po železnici, má za následek trvalý negativní dopad na životní prostředí, především na ovzduší. V důsledku permanentního provozu dochází ke znečišťování ovzduší škodlivými a zdraví ohrožujícími zplodinami, ke znehodnocování a snižování kvality životních podmínek. Navíc je třeba vzít v úvahu, že se světové zásoby ropy neustále snižují, dochází k postupnému vyčerpávání zásob, občasnému, avšak pravidelnému

kolísání cen ropy a v krajních případech k nedostatku ropy v některých světových teritoriích. Přitom je evidentní, že počet automobilů na světě roste rychlým tempem.

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem je zřejmé, že vyvstává aktuální potřeba si uvědomit naléhavou nutnost přechodu k alternativním zdrojům energie v oblasti dopravy. V tomto ohledu jsou v posledních letech na celém světě patrné aktivní výzkumné činnosti zaměřené na zlepšení podmínek životního prostředí v globálním i regionálním měřítku. Ve stále větší míře jsou vyvíjeny aktivity zacílené na vyhledávání alternativních zdrojů energie, které by mohly v budoucnu nahradit tradiční fosilní paliva. Dnes můžeme identifikovat 5 hlavních alternativních zdrojů energie, které z technického i hospodářského hlediska mohou být prakticky použity v odvětví dopravy. Mezi tyto zdroje patří zkapalněný ropný plyn (LPG neboli propan-butan), zemní plyn jak ve formě komprimované (CNG), tak zkapalněné (LNG), elektřina, kapalná biopaliva a vodík.

V této souvislosti velkým potenciálem rozvoje disponuje technologie zkapalněného zemního plynu (LNG), u kterého se předpokládá, že se v příštích letech může stát adekvátní náhradou za klasickou motorovou naftu, využitelnou především v silniční nákladní a námořní dopravě. Proces zkapalnění zemního plynu je znám již od poloviny XX. století. Dnes téměř všechny velké ropné společnosti koncernu Exxon Mobil (Shell, Total, Gazprom, GDF Suez, Statoil, a jiné) mají vytvořené speciální jednotky zabývající se výrobou a distribucí zkapalněného zemního plynu. V současné době řada firem, zahájila projekty, týkající se přímo praktického využití LNG v pozemní dopravě. Tyto nadnárodní společnosti disponují obrovskými finančními, technologickými a provozními prostředky, které mohou využít k tomu, aby vytvořily efektivní hnací sílu zacílenou na rychlý rozvoj nového průmyslového odvětví, zabývajícího se alternativními palivy.

Z hlediska úspěšného podnikání v oblasti produkce pohonných hmot a paliv se rozvoj LNG v odvětví dopravy jeví jako efektivní v důsledku legislativní a ekonomické podpory v různých zemích. Například Evropská komise zvažuje využití LNG jako nejperspektivnější náhrady motorové nafty pro nákladní dopravu.

K dnešnímu dni jsou možnosti alternativních paliv určených pro dálkovou nákladní dopravu vzhledem k oblibě motorové nafty velmi omezené. Se zavedením striktních norem Euro VI pro nákladní automobily by se však mohl LNG stát dlouhodobě adekvátní alternativou k naftě. Použití LNG v praxi umožní téměř kompletní snížení emisí síry a snížení emisí CO<sub>2</sub> o 20 % až 25 % a výrazně snížení toxických produktů jako karcinogenních látek a oxidu uhelnatého CO. Ekonomický dopad přechodu na LNG v nákladním segmentu se odhaduje mezi 15 % a 25 %.

Rusko disponuje velkými zásobami zemního plynu, které jsou však z velké části dosud nevyužité. Rovněž vývoj a využití zkapalněného zemního plynu není tak akutní a důležité jako

v zahraničí. Z toho důvodu byla položena tisíce kilometrů dlouhá potrubí sloužící k distribuci zemního plynu do oblastí mimo území Ruska. Skutečný vývoj a provoz vozidel na LNG se začal aktivně rozvíjet teprve před deseti lety.

V dnešní technicky vyspělé době existují velké možnosti realizace regionálního rozvoje jako samostatného projektu za účelem výroby a použití plynu, a to především díky tomu, že se v některých oblastech nacházejí rozsáhlá ložiska s velkou kapacitou zemního plynu, například v republice Sacha (region Jakutska). Hlavním problémem realizace těchto teoretických projektů v praxi je stále ještě nedostatečná informovanost odborné a politické reprezentace o technických roseních, nákladech a přínosech a do značné míry absence vůle a odhodlání tyto nápady proměnit v prakticky uskutečnitelný projekt.

Primárním cílem této bakalářské práce je zvážit, posoudit a zhodnotit možnosti použití zkapalněného zemního plynu jako alternativní pohonné hmoty. Dalším dílčím cílem je navržení logistického systému zohledňujícího výrobu, skladování a použití zkapalněného plynu v průmyslové zóně akciové společnosti Alrosa nacházející se v západní části Jakutska. V tomto regionu však musíme počítat s velkým vlivem tvrdých klimatických podmínek, které průběh logistického systému značně determinují.

Dalším partikulárním úkolem práce je provést a předložit ekonomické zhodnocení navrhovaného systému a ukázat rentabilitu tohoto projektu.

Součástí této práce bude rovněž stručná charakteristika regionu Jakutska a další část práce je věnovaná charakteristice zkapalněného zemního plynu.

Hlavním zdrojem informací pro tuto práci byly kromě doporučené literatury informace získané od společnosti Chart Ferox, a. s. a webové stránky v jejich správě. Zdrojem některých informací byly webové stránky Krajského úřadu republiky Sacha.

# 1. Analýza situace v republice Sacha

## 1.1. Poloha

Sacha neboli Jakutsko leží v severovýchodní části Sibiře a je součástí Dálněvýchodního federálního okruhu.

Jakutská republika zaujímá rozlohou 3 083 523 km<sup>2</sup> (pro srovnání: asi 70% Evropské Unie) a je v rámci Ruské federace největší. Sacha zabírá 1/5 celkové rozlohy Ruska. Jakutskou republikou procházejí tři časová pásma (převážná část území má čas UTC+9, Ojmjakonský, Ust'-Janský a Verchojanský ulus mají UTC+10, Abyjský, Allaichovský, Momský, Nižnekolymský, Sredněkolymský a Verchněkolymský ulus mají UTC+11).

Hlavním městem Sachy je Jakutsk, který se nachází 10 323 km od Prahy. Na východě sousedí s Čukotským autonomním okruhem a Magadanskou oblastí, na jihovýchodě s Chabarovským krajem, na jihu s Amurskou oblastí a Zabajkalským krajem, na jihozápadě s Irkutskou oblastí a na západě s Krasnojarským krajem. Jeho severní břehy omývá Severní ledový oceán.



Obrázek 1.1: Jakutsko (zdroje: <http://investyakutia.com>)

## 1.2. Klima

Klima je silně kontinentální, tzn. převážně chladné (střed a sever území) až mírné (jih republiky). Průměrné lednové teploty se pohybují mezi -28 až -47 °C, červencové mezi +2 až +19 °C. Průměrné roční srážky mají rozsah mezi 200 mm (střed, vnitrozemí) a 700 mm (hory na východě země).

Klima Jakutska je náročné, je ostře kontinentální a vyprahlé, což je dáno zeměpisnou polohou a specifikou atmosférických procesů.

Charakteristickým rysem klimatu je anticyklonální režim počasí v zimě a časté invaze vzdušných mas ze Severního ledového oceánu s velmi nízkým obsahem vodní páry v létě.

Zimy jsou dlouhé, chladné a s malým množstvím sněhových srážek; léta jsou krátká, většinou vyprahlá s relativně vysokými teplotami.

Sluneční teplo, které dopadá na zemský povrch, je jedním z hlavních klimatických faktorů. Je ovšem do značné míry závislé na atmosférických procesech a stavu zemského povrchu.

V porovnání s oblastmi, které leží na stejné zeměpisné šířce v evropské části Ruska a v západní Sibiři, je zdroj solární energie v republice Sacha větší a intenzivnější. To je dáno odpovídajícími klimatickými a geografickými podmínkami určujícími opakovanost anticyklonálního počasí (nízká oblačnost a vysoká průzračnost atmosféry).

Cirkulační procesy atmosféry nad územím Jakutska jsou determinovány zemskou povrchovou strukturou, ale silný vliv mají také místní a fyziografické podmínky.

V zimě se vzduch nad Asií ochlazuje, formuje se anticyklona – tj. oblast zvýšeného tlaku s uzavřenou cirkulací ve směru hodinových ručiček. Působení cyklonů od západu k východu na severu země je často doprovázeno silnými větry a dlouhými sněhovými bouřkami.

V případech oteplování, které je často doprovázené sněhovými přívaly, se ostroh asiatského anticyklonu silně oslabuje.

V oblasti vysokotlakého ostrohu se formuje vzduch, který je charakterizován velmi nízkými teplotami v povrchové vrstvě, mimořádnou stabilitou, silně přízemními inverzemi, nízkou vlhkostí a vysokou průzračností vzduchu.

Na většině území republiky Sacha převažují slabé a mírné větry; cca 93 % o rychlosti 0–5 m/s, kolem 59 % o rychlosti 0–1 m/s. Nejvyšší pravděpodobnost nízkých rychlostí větru (až do 2 m/s) je v zimních měsících a středních rychlostí (2–5 m/s) v létě. Dny se silnými větry (15 m/s nebo více) se v Jakutsku počítají ve velkém rozmezí 1 až 55 dnů; nejčastěji se silné větry objevují na přilehlých ostrovech, při pobřeží moří Laptěvů a Východního sibiřského moře, v údolí řeky Leny (dolů od ústí Aldan) a v zóně tundry.

Rozložení teploty v průběhu celého roku je úzce spojeno s rozložením tlaku, větru a sluneční radiace. Kromě toho vznik teplotního režimu a rozdělení teplotních charakteristik jsou značně ovlivněny povrchovou strukturou na území Jakutska a stejně tak i mírou vzdálenosti určitých oblastí od moře.

Ve větší části Jakutska jsou nejnižší teploty v lednu, pouze v pobřežních přímořských oblastech jsou teploty v lednu a únoru téměř stejné, na ostrovech je nejchladnější měsíc únor. V zimním období, tedy od listopadu do února, bývají nejnižší teploty zaznamenány v oblasti ostrohu asiatského anticyklonu, v regionech Ojmiakona i Verchojanska. Průměrné lednové teploty zde jsou v rozmezí od -50 °C do -48,6 °C.

V chladném období roku, zejména od prosince do února, je pro větší část území typický slabý vítr či úplné bezvětří, což způsobuje nedostatečnou cirkulaci vzduchu a rovněž slabou vertikální výměnu tepla, takže zde existují silné pozemní inverze (zvýšení teploty ve vyšších nadmořských výškách), které zesilují především v horských oblastech.

V některých chladných dnech mohou zimní teploty sestoupit až pod  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a to téměř ve všech oblastech země. Nejnížší teploty jsou pozorovány ve východních horských oblastech, a to v údolích a prohlubních, v extrémně úzkých údolích a prohlubních s obstrukčním prouděním studeného vzduchu. Minimální teplota může dosáhnout rekordní úrovně naměřené na severní polokouli:  $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-68\text{ }^{\circ}\text{C}$  v Ojmiakonu a Verchoyansku kvůli tamní inverzi. Na svazích vysokých hor a dokonce i na malých kopcích se tak nízké teploty dlouhodobě neudrží. V jižní a jihozápadní části země minimální teploty mohou klesnout až do  $-58\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-62\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na mořském pobřeží a ostrovech nebývá teplota nižší než  $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $-52\text{ }^{\circ}\text{C}$ , avšak už v krátké vzdálenosti od pobřeží, stejně jako v hlubokých zátokách a zálivech, se minima dramaticky snižují. V centrálních oblastech minimální teploty mohou klesnout na  $-61\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $-66\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

V teplém období na jaře na většině území Jakutska rychle narůstají průměrné denní teploty, pro podzim je charakteristický rychlý pokles. Nejteplejší měsíc roku je červenec. Pobřežní oblasti a ostrovy v červenci a srpnu vykazují podobnou teplotu. Od května do srpna lze nejvyšší teploty naměřit ve středním Jakutsku. Průměrná červencová teplota v centrální, jihozápadní a jižní části země, tedy v relativně nízko položených oblastech, se pohybuje v rozmezí  $+17\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+19\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Ve většině nížinných oblastí nejvyšší teploty mohou dosáhnout  $+34\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+38\text{ }^{\circ}\text{C}$ , na břehu moří pak  $+29\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$  a na ostrovech  $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V horských oblastech maximální teplota závisí především na nadmořské výšce, reliéfu krajiny i dalších faktorech.

Tyto velmi nízké teploty v zimě a relativně vysoké v létě ukazují jeden z charakteristických rysů termálního režimu oblasti – vysoký roční rozsah teplot, který dosahuje až rekordních úrovní, což potvrzuje skutečnost, že klima v republice Sacha je kontinentální.

Období bez mrazu, vzhledem ke složitosti terénu a umístění Jakutska v různých fyziografických zónách, jsou velmi rozmanitá. Nejdélší doba bez mrazu (95 dnů) byla zachycena v údolí středního toku řeky Leny. V tundře období bez mrazu může trvat dva měsíce, v některých letech se mohou vyskytnout mrazy i po celé léto s přestávkami kratšími než 30 dnů. Na ostrovech nezamrzající období neexistují vůbec. V horských oblastech je délka období bez mrazu zcela různá.

Pro letní sezónu jsou charakteristické časté přílivy studených vzdušných mas ze severu s nízkým obsahem vodní páry a vysokou průzračností. Za takových situací ve spojení s podmínkami příznivými ke stagnaci studeného vzduchu a za jasného počasí v některých

letech se může projevit mráz i v létě, a to zejména v horských oblastech. Vlhkost je jedním z atributů klimatu, což má velký praktický význam pro mnoho odvětví hospodářství, zejména pro zemědělství. S vlhkostí úzce souvisí procesy odpařování, tvorba mlhy a mraků, srážky, depozice rosy, vznik námrazy atd.

Denní změna parciálního tlaku vodní pary v zimě je slabá a podobná změně teploty denního vzduchu. Během teplejších měsíců v období největšího výskytu turbulence parciální tlak v průběhu dne vykazuje dvě minima (před východem slunce a v odpoledních hodinách) a dva vrcholy (v 8 až 9 hodin ráno a večer před západem slunce).

Relativní vlhkost vzduchu se v rámci rozsáhlého území mění v širokém rozsahu. Největší vlhkost se objevuje ve 13 hodin, kdy se její hodnota pohybuje v blízkosti minimální hodnoty, protože se může do jisté míry vyznačovat odpařováním, které bývá nejintenzivnější ve dne. Na celém území Jakutska, s výjimkou ostrovů a pobřežních přímořských oblastí moří Laptěvů a Východního sibiřského moře, je nejvyšší relativní vlhkost vzduchu pozorována v zimě, nejnižší na začátku léta.

Díky výraznému anticyklonálnímu režimu je počasí v chladném zimním období na většině území Jakutska suché s minimálními sněhovými srážkami. Jak v létě, tak i v zimě je nejvíce intenzivní cyklonální činnost charakteristická pro západní a jižní části území.

V první a druhé dekádě dubna, na severu a na vysočině od třetí dekády množství sněhu začíná klesat, začíná tzv. denní obleva. Někdy srážky padají ve smíšené podobě. Sníh začne houstnout, tát a odpařuje se.

Počet dnů se sněhovou pokrývkou na celém území Jakutska se pohybuje v širokém rozmezí 200 – 210 dnů, stejné podmínky vládou na jihu Jakutska a 250 dnů leží sníh v zóně tundry. Na ostrovech a pobřeží je země pod sněhovou pokrývkou asi 260 až 280 dnů.

Mlhy se vyskytují značně nerovnoměrně. Na ostrovech a pobřeží počet dní s mlhou v roce dosáhne čísel 70 až 100, mlhy se zde objevují především v teplém období. S rostoucí vzdáleností od moře a ve výšce do 600 metrů nad mořem se roční počet dní s mlhou pohybuje v rozmezí 40 až 90. Převažují v chladném období a jsou omezeny na zastavěná sídla. V nadmořských výškách nad 600 m se počet dní s mlhou snižuje na 10 až 30 v roce. I tady převládají v teplém období, s výjimkou úžlabin a údolí mezi horami, kde výskyt mlhy může být značný. Rozložení mlh v prostoru a čase je stejné jako v oblastech více vzdálených od moře a v nadmořské výšce 600 metrů nad mořem.

Na ostrovech a pobřeží polárních moří se maximální mlhy vyskytují v červenci a minimální v prosinci a lednu. Stejné rozložení mlh je i na zbytku území Jakutska, pouze v obydlených oblastech je maximum pozorováno od dubna do září. V obydlených osadách a zástavbách,

kteřé se nacházejí v příslušných zeměpisných podmínkách, jsou pozorována dvě maxima, a to v zimě (prosinec – leden) a v létě (srpen – září).

### 1.3. Obyvatelstvo

Rozlohou obrovská republika Sacha (Jakutsko) je osídlena poměrně slabě, řídce a nerovnoměrně. Její podíl na celkové populaci Ruska je pouze 0,7 %, zatímco plocha zabírá celých 18 %, tedy celou 1/5 území Ruska. Průměrný věk obyvatel země je 30,9 let. Porodnost v Jakutské republice je velice nízká a stále klesá.

Ze zhruba 1 milionu obyvatel žije 64 % ve městech. Národnostní složení obyvatel je ovlivněno migrací přistěhovalců, přitom původní obyvatelstvo tvoří polovinu celkové populace. Následující tabulka prezentuje národnosti, jejichž podíl přesahuje 0,5 %.

Kromě národností uvedených v tabulce zde žijí Kyrgyzové, Arméni, Uzbekové, Tádžikové, Dolganové, Jukagirové a několik dalších etnických skupin, každá s méně než tisícem osob.

Tabulka 1.1: Obyvatelstvo Jakutska (zdroje: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sacha>)

	1959	1970	1979	1989	2002	2010
<b>Jakuti</b>	233 273	285 749	313 917	365 236	432 290	466 492
	56,5 %	43,0 %	36,9 %	33,4 %	45,5 %	48,7 %
<b>Rusové</b>	146 741	314 308	429 588	550 263	390 671	353 649
	35,5 %	47,3 %	50,4 %	50,3 %	41,2 %	36,9 %
<b>Evenkové</b>	10 432	9 097	11 584	14 428	18 232	21 008
	2,5 %	1,4 %	1,4 %	1,3 %	1,9 %	2,2 %
<b>Ukrajinci</b>	4 229	20 253	46 326	77 114	34 633	20 341
	1,0 %	3,0 %	5,4 %	7,0 %	3,6 %	2,1 %
<b>Evenové</b>	3 133	6 471	5 763	8 668	11 657	15 071
	0,8 %	1,0 %	0,7 %	0,8 %	1,2 %	1,6 %
<b>Tataři</b>	4 420	7 678	10 976	17 478	10 768	8 122
	1,1 %	1,2 %	1,3 %	1,6 %	1,1 %	0,8 %
<b>Burjati</b>	699	2 126	4 508	8 471	7 266	7 011
	0,2 %	0,3 %	0,5 %	0,8 %	0,8 %	0,7 %
<b>Ostatní</b>	10 271	18 441	29 178	52 407	41 133	42 970
	2,5 %	2,8 %	3,4 %	4,8 %	4,3 %	4,5 %



## 1.4. Minerály

Sacha zaujímá jedno z prvních míst v Rusku, co se týká rozmanitosti a zásob nerostných surovin:

- Zlato. Jakutia - je hlavní zlatonosná republika v celém Rusku.
- Rudné minerály
- Diamanty.
- Vzácné kovy.
- Chrom, titan, molybden.
- Cín (kasiterit).
- Rudy. (olovo, zinek, měď, zlato, stříbro, kadmium, vizmut, cín, gallium, indium a skandium).
- Železná ruda.

*Nekovové minerály.*

- *Slída.* Jakutsko je na prvním místě v Rusku v zásobách slídy.
- *Zeolit.* V Suntarském okrese se nachází celá zeolitová hora. Zeolit se používá pro přípravu vodních filtrů a průmyslové adsorpční procesy.



Obrázek 1.2: Ložiska plynu a ropy Jakutsko (zdroje: <http://www.kommersant.ru/doc/1054024>)

### *Palivové a energetické zdroje.*

- *Ropa a zemní plyn (viz. Obrázek 1.2).* Západní Jakutsko leží na Lena-Tunguské ropné pánvi. Těžba ropy a zemního plynu se provádí ve 3 krajích: Leno-Viliujském, Srednebotuobinském a Sredneanabarském. V roce 1995 bylo registrováno 31 míst nalezišť ropy, zemního plynu a plynového kondenzátu. Na začátku roku 1994 byly k dispozici tyto rezervy: 1310 miliard m<sup>3</sup> plynu, 29,9 miliardy tun plynového kondenzátu a 253,8 miliardy tun ropy. Další zásoby ropy a plynu jsou uloženy v šelfových zónách Severního ledového oceánu, Yana-Kolymské nížině a Predverhoyansku.
- *Uhlí.* Jakutsko má 4 velké uhelné pánve: Lenská (plocha 600 tisíc km<sup>2</sup>, rezervy 1,6 bilionu tun), západní okraj Tunguské pánve, Zyryanská (plocha 7500 km<sup>2</sup>, rezervy ve výši 30 miliard tun) a Yuzhnoyakutskaya (plocha 25 km<sup>2</sup>, zásoby 40 miliard tun).
- *Grafit.* V západním a jižním Jakutsku se nachází 2 velké provincie, které obsahují ložiska grafit: Anabar a Aldan.

V Jakutsku jsou také těženy horniny a minerály, které se používají na výrobu šperků a rovněž drahé kameny: jaspis, nefrit a charroit.

## **1.5. Využití zemního plynu v Jakutsku**

V roce 1999 bylo zveřejněno Usnesení předsednictva Sacha, dle kterého vozidla rozpočtových organizací lze převést na propan-butan (LPG) za účelem snížení veřejných výdajů rozpočtových organizací se sídlem ve městě Jakutsku a s cílem rozšířit trh s produkty [6].

Bylo nutné realizovat převod vozidel na zkapalněný plyn a provést opatření na přípravu skladovacích prostorů, marketing zkapalněného plynu a parkování vozidel.

Zpočátku obyvatelé Jakutské republiky kupovali zkapalněný plyn (LPG) vyrobený ve městě Tobolsk v Tiumenské oblasti. Z důvodu vysokých nákladů na dopravu současná cena zkapalněného plynu v Jakutsku byla neúnosně vysoká.

Díky instalaci dalších plynových nádob v Jakutské plynařské společnosti je nyní možné od ní odebírat a skladovat LPG, který je vhodný pro použití v domácnosti. Z toho důvodu je již možné prodávat plyn za nižší ceny.

V roce 2011 se cena LPG v Jakutsku v důsledku zvýšení dodatečných kapacit cílených na místní zpracování plynu téměř 4krát snížila.

V centrální oblasti republiky nedošlo k vrtání nových sond za účelem získání nového naleziště zemního plynu více než dvacet let. Avšak letošním roce byly hloubeny v oblasti Tolonskogo nové vrty, které rozšířily počet dosud známých nalezišť. Podle programu plynofikace se

spotřeba plynu v Jakutsku rychle zvyšuje. To znamená, že je třeba hledat nová naleziště zemního plynu, zvýšit objem výroby plynu a vytvořit rezervy pro budoucí použití. Obnovení vrtného programu se stalo důležitým milníkem pro život společnosti a významnou událostí dotýkající se každého občana této země.

Takto rozvinutý plynárenský průmysl v republice Sacha vytváří dobrý základ pro přechod na technologii LNG.

## 2. Charakteristika LNG

Zkapalněný zemní plyn (anglicky Liquefied Natural Gas, odtud zkratka LNG) je bezbarvá kapalina, která má při běžném atmosférickém tlaku teplotu  $-160$  až  $-162$  °C a zaujímá zhruba 600krát menší objem než zemní plyn v plynné fázi za normálních podmínek, což je významná výhoda pro jeho uskladnění. Fyzikální vlastnosti LNG závisejí na jeho složení. LNG obsahuje podle místa těžby 80 až 99 % metanu, další uhlovodíky, dusík, oxid uhličitý, vodu a sloučeniny síry.

V současné době se výrazně zvyšuje objem mezinárodního obchodu se zkapalněným zemním plynem, což konkrétně představuje více než 26 % světového obchodu dodávek zemního plynu, a tedy dosahuje 7 % celkové světové spotřeby. Očekává se, že do roku 2020 se tento počet zdvojnásobí, dosáhne 14 %. Největší výrobní kapacity zkapalněného zemního plynu jsou v současnosti soustředěny v jihovýchodní Asii, avšak nejdynamičtější expanzi lze zaznamenat v Africe a na Středním východě. LNG je důležitým zdrojem energie pro mnoho zemí, včetně Japonska, Číny, USA, Norska, Francie, Belgie, Španělska a Jižní Koreje.

Zkapalněný zemní plyn je netoxický a chemicky neaktivní. Měrné teplo představuje hodnotu 12 000 kcal/kg a oktanové číslo je o 13 % - 15 % vyšší než u benzínu. Je důležité poznamenat, že zkapalněný zemní plyn je téměř dvakrát lehčí než benzín. Spaliny obsahují 10krát méně oxidu uhelnatého a 2krát méně oxidů dusíku.

Čistý LNG při jeho nízké teplotě nehoří, sám o sobě není hořlavý, a tudíž neexploduje.

V otevřeném prostoru při normální teplotě se zkapalněný zemní plyn vrací do plynného stavu a rychle se rozpouští ve vzduchu.

Při odpařování se zemní plyn může vznítit, pokud bude v kontaktu se zdrojem plamene.

V současné době jsou k dispozici tyto technologie aplikace LNG:

- a) Dopravní technologie. Jde o námořní přepravu zkapalněného zemního plynu z místa vytěžení na trhy.
- b) Vyrovnání špiček spotřeby na dodávky plynu spotřebitelům (tzv. peak-shaving). Jedná se o technologii odpařování nahromaděných rezerv LNG do plynovodu při špičkovém zatížení v distribuční síti.
- c) Dopravně-distribuční technologie. Jedná se o poskytování a dodávání plynu i vzdáleným uživatelům, kteří nemají snadný přístup k distribučním sítím. Pravidelné dodávky LNG po silnici se také nazývají „virtuální potrubí“.

d) LNG jako paliva pro vozidla (zejména pro nákladní automobily, těžké tahače, lokomotivy, námořní a říční lodě).

Je třeba poznamenat, že výše uvedené vybrané aplikace LNG jsou často kombinovány mezi sebou. Terminály LNG mohou být použity k dodání plynu po silnici do vzdálených míst, která nemají přístup k potrubní distribuční síti, pro vozidla, domácnosti i průmysl a současně mohou představovat rezervu na pokrytí špiček zatížení v distribuci plynu potrubím.

Trh s LNG zahrnuje vývoj speciální infrastruktury, což vyžaduje použití jedinečných specifických technologií určených pro proces zkapalnění zemního plynu, jeho dopravu ve speciálních kontejnerech při nízké teplotě a zpětné odpařování.

## **2.1. Hlavní zvláštnosti modifikace vozidla na LNG motor.**

1. Úspory: prodejní cena zkapalněného zemního plynu jako motorového paliva představuje jen asi polovinu ceny benzínu. Zemní plyn lze považovat za nejlevnější variantu z nabídky veškerých motorových paliv, která jsou k dispozici v obchodním řetězci v oblasti Jakutska.
2. Antidetonační vlastnosti: hodnota oktanového čísla plynu dosahuje 110, což prakticky vylučuje možnost detonačního spalování palivové směsi. To lze považovat za absolutní přednost toho paliva. Tato skutečnost je rovněž důležitá zejména pro využití paliva do plynových motorů s vysokým kompresním poměrem, určených pro tankování vysoce oktanového paliva.
3. Žádné škodlivé nečistoty: při spalování LNG paliva nedochází k úniku žádných zdraví škodlivých a život ohrožujících nečistot, kterými jsou například síra nebo olovo. Tyto toxické spaliny u běžných paliv mohou na chemické úrovni zničit či poškodit katalyzátor vozidla.
4. Diffusion: palivo se při užití smísí se vzduchem a vzniklá směs stejnoměrně vyplní válce, takže motor běží efektivněji. Směs plynů shoří úplně, což má za následek absenci druhotných elementů (sazí) a jejich usazování na zástrčkách, pístech a ventilech. Metan neobsahuje škodlivé nečistoty unikající do ovzduší, není zde patrný ani negativní účinek z hlediska znečištění spalovacího prostoru. Metan se rovněž snadno a rychle mísí se vzduchem a vyplňuje válce homogenní směsí, takže motor běží bez znatelných vibrací a obtěžujícího hluku. Plyná směs se spaluje téměř zcela, je tedy vyloučeno usazování spalin na písky, ventily a zapalovací svíčky.
5. Ochrana motoru: tato směs je přiváděna do motoru v plynném skupenství. V prostoru motoru je přítomný olejový film, který má silnou přilnavost na stěnách válce, není odplavitelný a nedochází tudíž ke kontaminaci paliva motorovým olejem. Plynová směs hoří pomaleji než benzín, což vede ke snížení zatížení klikových hřídelí

a pístového systému, motor tedy běží "soft". Obsah škodlivých látek ve výfukových plynech se výrazně snižuje u vozidel s dieslovým motorem, a to až o 53 %.

6. Životní prostředí: množství škodlivých a toxických látek obsažených ve výfukových plynech se snižuje mnohonásobně. Nejšetrnější k životnímu prostředí je právě toto motorové palivo a tudíž se optimálně hodí ke komerčnímu využití. Konkrétně dochází ke snižování emisí kysličníku uhličitého o 50 % a zplodin dusíku až o 80 %. Rovněž je minimalizován obsah různých toxických škodlivin ve výfukových plynech a chod motoru je až 10krát nižší než u motorů využívajících ropné produkty. Emise z plynových motorů splňují normy Euro-6.
7. Kompenzace úniku plynu: metan je 2krát lehčí než vzduch. Oproti tomu je propan 2krát těžší a ropná paliva jsou také více než 2krát těžší než vzduch. Z tohoto důvodu případné úniky metanu mohou být snadno a lehce odstraněny skrze větrací otvory, výfukové potrubí či pomocí přidání přírodního extraktu.
8. Speciální podmínky parkování: při provozu vozidel na propan-butan je nutné zřídit speciální parkovací garáže s automatickým ventilačním systémem a nainstalovanými citlivými čidly, což není zrovna levná záležitost. Četnost ventilátorů a senzorů závisí na počtu automobilů zaparkovaných v garáži.
9. Bezpečnostní opatření: moderní plynová zařízení jsou vybavena kompletním samočinným ochranným systémem, který citlivě a okamžitě reaguje na případný únik plynu. Všeobecným bezpečnostním faktorem je hodnota překročení úniku v nádrži 2,6krát, kdy je přívod plynu automaticky ihned ukončen. Rovněž v případě rozbití či narušení potrubí je rozvod plynu okamžitě zastaven. Z těchto důvodů je únik plynu a případný zápach v kabině vozidla vyloučen. Je však nutné zabezpečit modifikaci vozidla na provoz s LNG odborným způsobem, který respektuje předepsané normy a preferuje certifikovanou instalaci nádrže v autě.

Samozřejmě, že přechod vozidla na plyn se neobejde bez nevýhod. První se týká záruky na vůz. Stává se, že u vozidel, která byla transformována na plynový pohon, se na záruční dobu nebere příliš ohled. Při poruše vozu, dokonce i při předložení všech dokumentů od prodejce, je pravděpodobné, že bezplatná oprava bude odmítnuta. Opravit palivové systémy je docela vážný a složitý zásah do motoru. Výjimku tvoří vozidla, která byla vybavena plynovým pohonným zařízením již přímo v továrně nebo ve firmě, která je oficiálním výrobcem automobilů.

Druhý silný argument zohledňující negativa je ten, který poukazuje na příliš objemné nádrže. Velkokapacitní nádrže není mnohdy snadné jednoduše umístit do jakéhokoli typu vozidla, a to z toho důvodu, že zaberou hodně místa. Velmi často náhradní pneumatika umístěná v zadní části zavazadlového prostoru vozidla musí být odstraněna ze svého místa a rovněž objem

zavazadlového prostoru se zmenší. Rezervní pneumatika bude muset být umístěna na jiném místě, příklad na nosiči, nebo dokonce ponechána v garáži.

Další námitka zdůrazňující nevýhody plynového pohonu poukazuje na nedostatečnou dostupnost plnicích stanic. V rámci zásobovacích sítí je jejich dostupnost podstatně horší a komplikovanější než u stanic benzínových a naftových. Avšak problémy s plnicími plynovými stanicemi nejsou ve velkých městech ani na rychlostních silnicích. Naplánovat si dálkovou trasu můžeme pomocí internetu, který poskytne informace ohledně umístění plynových plnicích stanic, několik zdrojů nabídne okamžitě a rovněž zobrazí koordináty a adresy.

V současné době a s výhledem do budoucna se jedná ze všech úhlů pohledu o nejlepší variantu výběru ze všech motorových paliv. Zemní plyn je jeden z hlavních přírodních zdrojů, který byl, je a bude. Vyniká jedinečnými vlastnostmi - šetří a neohrožuje oblast životního prostředí, není škodlivý pro zdraví a život člověka a mimo jiné vyniká řadou technických, ekonomických a obchodních výhod.

Stručně řečeno, všechny tyto faktory ve svém důsledku přinášejí několik nebo i více úspor. Při využívání zemního plynu jako pohonného paliva lze prodloužit životnost motoru vozidla až 30 – 40 %, v případě optimálního využití oleje můžeme pozorovat až 2krát delší funkční období motoru než u motorů využívajících ropné produkty. V důsledku těchto faktorů se výrazně snižují veškeré náklady a investice na provoz a údržbu vozidla.

Rentabilita modifikačního převodu vozidel na plynový pohon je v průměru 2 - 8 měsíců, v závislosti na provozních charakteristikách vozu.

## **2.2. Rozvoj průmyslu LNG**

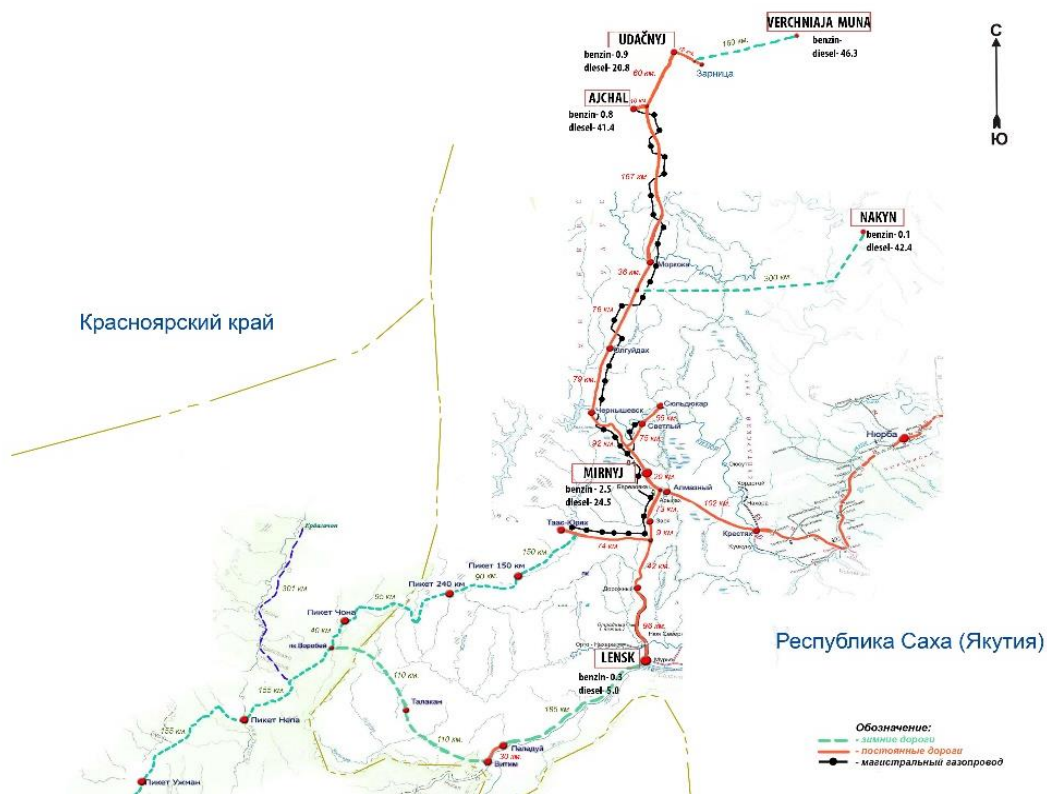
Je třeba si uvědomit, že zkapalněný zemní plyn je stále více žádoucí pro mnohé spotřebitele. V poslední době je patrný rychlý nárůst spotřeby zkapalněného zemního plynu na celém světě. Pokud srovnáme spotřebu LNG se spotřebou jiných zdrojů energie, je stále v menšině, avšak z hlediska budoucího vývoje má velkou perspektivu. Po detailní analýze celkové energetické situace ve světě odborníci vyvodili exaktní závěry zdůvodňující příčiny rozvoje a rostoucí oblíbenosti LNG a jeho užití jako alternativního paliva.

### 3. Technická data – zadání

#### 3.1. Spotřeba motorové nafty v současnosti

Na základě poptávky ruské akciové společnosti Alrosa nyní předložím globální návrh logistického systému distribuce a využití LNG a jeho rámcové ekonomické ohodnocení prostřednictvím podpůrných informačních zdrojů a zvolených indikačních ukazatelů finanční a kapitálové analýzy.

V průmyslové zóně Alrosa, a.s., nacházející se v ekonomicky orientovaném teritoriu západního Jakutska, jež je konkrétně graficky vyobrazeno na níže přiložené obrázku 3.1, je velká koncentrace těžebního průmyslu v povrchových dolech. Z toho vyplývá velká spotřeba motorových paliv zejména pro důlní sklápěcí vozidla (dumpery), která v současné době jezdí na motorovou naftu. Společnost Alrosa si od přechodu na LNG slibuje ekonomické úspory a zároveň zlepšení čistoty vzduchu v povrchových dolech. Pro využití systému dopravy na LNG se ukázala jako nevyhnutelná podmínka místní instalace zařízení na výrobu LNG a jeho skladování. Jako nepostradatelný přidružený element pro realizaci produkce se evidentně jeví systematická dodávka plynu do cílových míst. Za finální cílová místa je považováno šest nejvýznamnějších jakutských měst: Verchniaja Muna, Udačnyj, Ajchal, Nakyn, Mirnyj a Lensk. Do tří měst z výše uvedených je v současné době zavedena plynovod.



Obrázek 3.1: Mapa průmyslové zóny Alrosa, a.s. na západu Jakutska (zdroje: Alrosa, a.s.)



Po detailním prozkoumání lze na plánu upozornit tzv. zimní cesty. V tomto případě to znamená, že jsou na obrázku znázorněny komunikace, které mohou být využívány k provozu v zimním období, a to výhradně ve velmi nízkých teplotách, kdy dojde k jejich zpevnění ledem. Nicméně v důsledku geografických a klimatických podmínek této oblasti jsou tyto zimní cesty v provozu relativně krátkou dobu: v průměru asi v období počínajícím lednem či únorem do konce měsíce dubna. Z těchto důvodů není možné včasné zajištění dodávky nafty. Proto je vhodné a zároveň žádoucí využít zkapalněný zemní plyn do těchto daných oblastí.

V těsné souvislosti s řešením tohoto regionálního projektu vyvstává rovněž potřeba zajištění nárůstu a zvýšení přepravní kapacity těchto komunikačních tepen, protože pro přepravu stejného množství energie ve formě LNG je potřeba o něco více vozidel než pro formu nafty.

V tomto konkrétním případě lze v této sledované oblasti pozorovat dvě taková města, do kterých by byl plyn přepravován po silničních komunikacích prostřednictvím užitkových vozidel v zimě v období intenzivních mrazů a velice nízkých teplot, a to měst Verchnyaya Muna a Nakyn. Doba využití provozu těchto silničních komunikačních spojů se odhaduje maximálně na 100 dnů v roce. Tranzitní přeprava plynu dosahovala nejvyšších přepravních hodnot u dalších dvou sídel, a to měst Mirnyj a Lensk.

Na základě údajů, uvedených akciovou společností Alrosa, následující tabulka 3.1 představuje a sumarizuje základní statistické údaje vypovídající o spotřebě motorové nafty za rok 2013 v největších městech západojakutské zóny.

Tabulka 3.1: Spotřeba motorové nafty za rok 2013 (zdroje: Alrosa, a.s.)

	Verchniaja Muna	Udačny	Ajchal	Nakyn	Mirnyj	Lensk
	tis. tun	tis. tun	tis. tun	tis. tun	tis. tun	tis. tun
Horní zařízení	2,9	4,799	9,22	9,53	8,189	0,948
Užitková vozidla	13,2	13,886	27,74	17,042	4,257	-
Tranzitní doprava	-	0,017	1,296	1,212	5,532	3,393
Veřejná doprava	-	2,106	3,19	0,719	6,516	0,929
Dieslová elektrárna	30,2	-	-	13,9	-	-
Celkem	46,3	20,8	41,4	42,4	24,5	5,3

Dalším partikulárním úkolem této práce bude prezentace přepočtu spotřeby motorové nafty na spotřebu zemního plynu (LNG).

### 3.2. Propočet na spotřebu zkapalněného zemního plynu LNG

V této kapitole budou blíže přiblíženy výpočty získané při kalkulaci převodu spotřeby zemního plynu na LNG (liquified natural gas). V úvodu pokládám za vhodné ukázat celkovou spotřebu motorové nafty, jejíž hodnoty jsou představeny a seřazeny v následující tabulce 3.2:

Tabulka 3.2: Spotřeba dieselu za rok (zdroje: Alrosa, a.s.; vlastní výpočty)

	Spotřeba Dieselu ( $S_D$ )	
	tis. tun/rok	tun/rok
Verchniaja Muna	16,1	16 100
Udačny	20,8	20 800
Ajchal	41,4	41 400
Nakyn	28,5	28 500
Mirnyj	24,5	24 500
Lensk	5	5 000
Celkem	136,3	136 300

Aby bylo možné provést výpočet, uvažujeme hustotu plynu ( $\rho_{LNG}$ ) 420<sup>1</sup> kg/m<sup>3</sup>. V přímé souvislosti je rovněž nutné uvést potřebné energetické parametry nafty a metanu (viz. tabulka 3.3).

Tabulka 3.3: Energetické parametry paliv (zdroje: Chart Ferro, a.s.)

Energetické parametry			
Nafta (Diesel)	$E_D$	kJ/kg	43
Metan (LNG)	$E_{LNG}$	kJ/kg	50

Ve finálním výstupu je možné shrnout a následně vykalkulovat potřebné množství LNG ( $S_{LNG}$ ) podle následujících vzorců a získané výsledky přiřadit k jednotlivým výše jmenovaným městům. Výpočet množství LNG:

$$S_{LNG} = S_D * \frac{E_D}{E_{LNG}} [tun/rok] \quad (1)$$

kde  $S_D$  - spotřeba dieselu [tun/rok]

$E_D$  – tepelná kapacita nafty [kJ/tun]

$E_{LNG}$  – tepelná kapacita plynu [kJ/tun]

<sup>1</sup>Charakteristika LNG: <http://lngas.ru/natural-gas-lng/fiziko-ximicheskie-svojstva-spg.html>

Úhrnné finální hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce 3.4.

Tabulka 3.4: Převod potřebného množství motorové nafty Diesel na LNG (zdroje: Alrosa, a.s.; vlastní výpočty)

Převod potřebného množství motorové nafty na LNG					
	Spotřeba nafty ( $S_D$ )		Odpovídající spotřeba LNG ( $S_{LNG}$ )		
	tis. tun/rok	tun/rok	kg/rok	tun/rok	tun/den
Verchniaja Muna <sup>*2</sup>	16,1	16 100	13 846 000	13 846	37,93
Udačnyj	20,8	20 800	17 888 000	17 888	49,01
Ajchal	41,4	41 400	35 604 000	35 604	97,55
Nakyn*	28,5	28 500	24 510 000	24 510	67,15
Mirnyj	24,5	24 500	21 070 000	21 070	57,73
Lensk	5	5 000	4 300 000	4 300	11,78
Celkem	136,3	136 300	117218000	117 218	321,15

<sup>2</sup> (\*) Města označená hvězdičkou (zde i v dalších tabulkách) vyžadují navezení celoroční spotřeby během 100 denního zimního období pevných vozovek.

## 4. Návrh logistického systému

V projektu je nutné řešit problém vzniku integrovaného logistického systému. Aby byly zajištěny včasné dodávky od organizace, je potřebné najít optimální řešení pro náklady na dopravu a skladování pro všechny účastníky projektu, a poskytování vysoce kvalitních logistických služeb v rámci procesu zadávání veřejných zakázek, skladování a výroby v západní části Jakutska.

### 4.1. Propočet přepravního objemu

Na základě dat zpracovaných v kapitole 3.2, můžeme vypočítat potřebný přepravní objem do cílových destinací, který bude výchozím údajem pro stanovení počtu přepravních vozidel a velikosti skladovacích zásobníků. Následně platí, že roční objem spotřeby LNG ( $V_{LNG}$ ) spočítáme podle vzorce

$$V_{LNG} = \frac{S_{LNG}}{\rho_{LNG}} [m^3/rok] \quad (2)$$

kde  $S_{LNG}$  - spotřeba zkapalněného plynu [t/rok]

$\rho_{LNG}$  – hustota zkapalněného plynu [t/m<sup>3</sup>]

V tabulce jsou uvedeny hodnoty, které jsem se získala ve výpočtech.

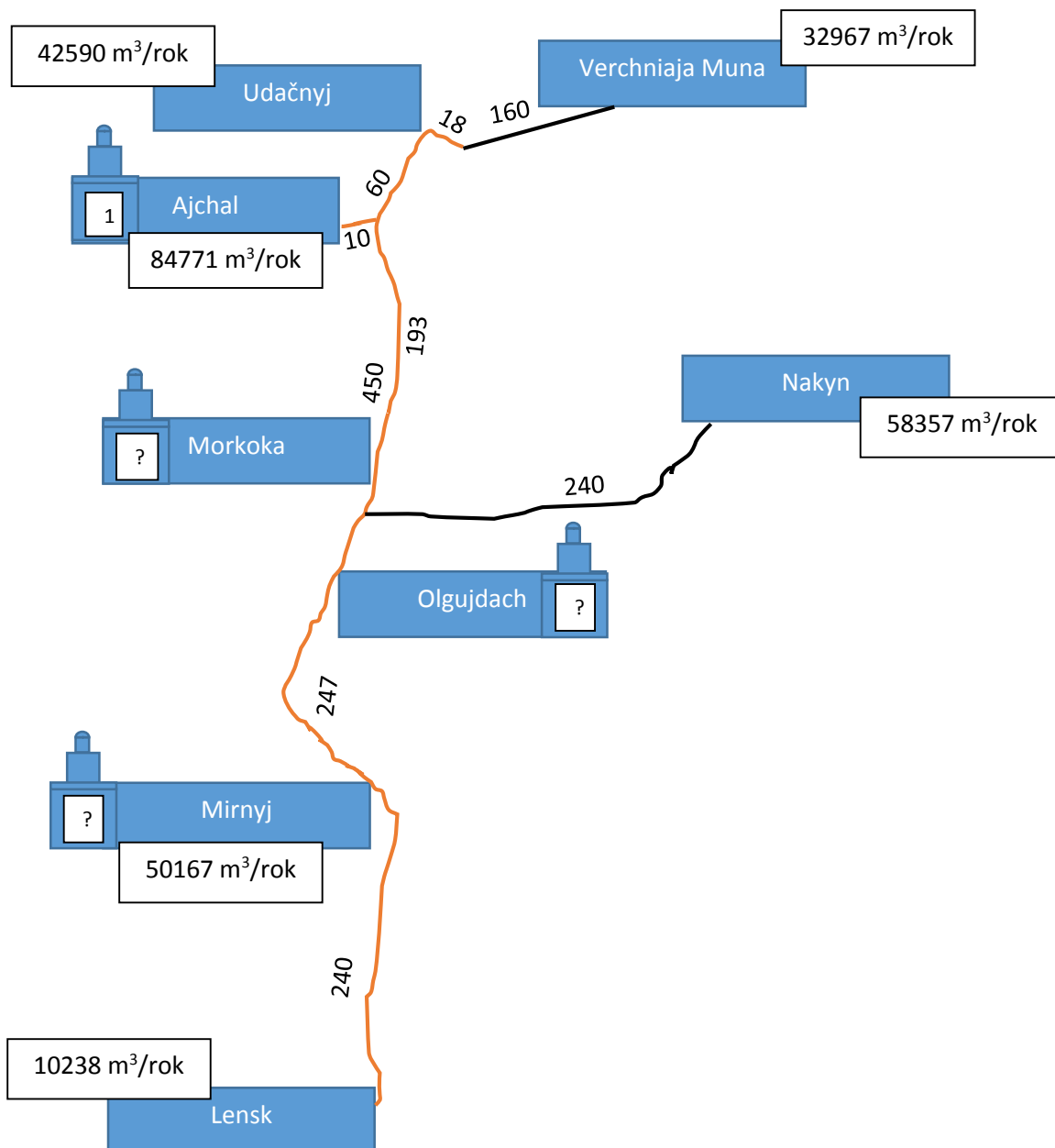
Tabulka 4.1: Potřebný objem LNG (zdroje: Alrosa, a.s.; vlastní výpočty)

	Spotřeba LNG ( $S_{LNG}$ )	Objem LNG ( $V_{LNG}$ )
	tun/rok	m <sup>3</sup> /rok
Verchniaja Muna*	13 846	32 967
Udačny	17 888	42 590
Ajchal	35 604	84 771
Nakyn*	24 510	58 357
Mirnyj	21 070	50 167
Lensk	4 300	10 238
Celkem	117 218	279 090

### 4.2. Návrh rozmístění zdrojů LNG (zkapalňovač)

Nyní budou přiblíženy informace o standardních zkapalňovačích, vyráběných společností Chart Energy and Chemicals, které jsou vybrány pro svou vhodnou velikost pro příkladné využití v této práci. Data jsou následující:

- C100N - 100.000 GPD<sup>3</sup> (165 TPD<sup>4</sup>) zkapalňovací kapacita
- C250IMR - 250.000 GPD (400 TPD) zkapalňovací kapacita



Obrázek 4.1: Návrh rozmístění zkapalňovače (zdroje: Alrosa, a.s.; vlastní obrázek)

Podle vypočítaného množství spotřeby paliva byla vybrána nejvýhodnější varianta s dvěma jednotkami – výroba 165 tun za den, které optimálně odpovídají sumární spotřebě celého projektu 321 tun za den svou sumární kapacitou 330 tun za den. V tomto případě je nutné upozornit na skutečnost, že tato varianta je výhodná především z toho důvodu, že jestliže jedna jednotka nefunguje správně, bude v provozu alespoň druhá, která umožní zásobování

<sup>3</sup> GPD (angl. gallons per day) - galon za den

<sup>4</sup> TPD (angl. tonne per day) - tuna za den

nejkritičtějších spotřebitelů. Ideálním řešením by byla výstavba třetí rezervní jednotky, což může být zváženo v pozdějších etapách realizace projektu, jehož náběh na plnou kapacitu bude probíhat v důsledku vysokých nákladů zcela jistě několik let. První bazický zkapařovač bude umístěn v městě Ajchal, protože právě tam je vykázána největší spotřeba LNG. Na dodání, umístění a zprovoznění zkapařovače musí být vyčleněny poměrně velké investice a celý projekt bude vyžadovat velké náklady. Další zkapařovače je hypoteticky vhodné umístit na třech místech, a to v Morkoce, ve Olgudach nebo ve Mirném (viz. obrázek 4.1). Takže v následujícím textu bude potřebné provést konkrétní výpočty a na základě jejich hodnot následně rozhodnout, jaké řešení týkající se umístění zkapařovače bude neoptimálnější a nejnepříhodnější.

Jak už bylo uvedeno, největší spotřeba LNG, a to konkrétně 84 771 m<sup>3</sup>, je pozorovatelná v Ajchalu, proto je žádoucí si toto město zvolit jako primární bazické město vhodné pro umístění zkapařovače č. 1. Dále musíme vzít v úvahu a porovnat vzdálenosti mezi jednotlivými posuzovanými městy. Takže nyní bude následovat tabulka 4.2 uvádějící vzdálenosti (L) ve sledované oblasti.

Tabulka 4.2: Tabulka vzdáleností (zdroje: Alrosa, a.s.)

			Umístění zkapařovače			
			Ajchal	Mirnyj	Morkoka	Olgudach
Cílové destinace	Verchniaja Muna*	km	248	-	-	-
	Udačnyj	km	70	-	-	-
	Ajchal	km	-	460	167	289
	Nakyn*	km	503	547	336	376
	Mirnyj	km	460	-	283	171
	Lensk	km	700	240	523	411
	Celkem	km	821	1 247	1 309	1 247

Je třeba ještě doplnit fakt, že z města Ajchalu budeme rozvážet LNG do následujících nejbližších měst: Verchniaja Muna a Udačnyj. Ostatní města budou využívat zkapařovač č. 2, který bude ještě vykrývat menší deficit v Ajchalu cca 21 tun za den.

Na základě toho, že zkapařovač vyrobí 165 tun LNG za den, musíme propočítat, kam a kolik LNG budeme rozvážet od zkapařovače do ostatních měst (viz. tabulka 4.3).

Tabulka 4.3: Spotřeba LNG tun za den v cílových destinacích (zdroje: Alrosa, a.s.; vlastní výpočty)

			Umístění zkapalňovačů			
			Ajchal č.1	Mirnyj č.2a	Morkoka č.2b	Olgudach č.2c
Cílové destinace	Verchniaja Muna*	tun/den	38			
	Udačny	tun/den	50			
	Ajchal	tun/den	98			
	Nakyn*	tun/den		68	68	68
	Mirnyj	tun/den		58	58	58
	Lensk	tun/den		12	12	12
	Celkem	tun/den	186	138	138	138
	Zůstatek	tun/den	-21	27	27	27

Z tabulky je patrné, že výroba LNG v Ajchalu není dostačující a nemůže pokrýt potřebu ve všech třech zvolených městech. To prakticky znamená, že bude zapotřebí dovést do Ajchalu potřebný objem LNG, který představuje 21 tun. Víme, jak uvedeno dále v této práci, že jedna cisterna má kapacitu 21 tun, z toho důvodu bude dostačující, když bude dovezena jedna cisterna LNG denně z doplňujícího zkapalňovače č. 2 do Ajchalu.

Je třeba si uvědomit, že objem cisterny pro dopravu LNG je 58<sup>5</sup> m<sup>3</sup>, ale lze ji naplnit do výše 88 %. Z toho vyplývá, že čistý objem představuje 51,04 m<sup>3</sup>. Při hustotě LNG 420 kg/m<sup>3</sup>, jak už bylo uvedeno, se dostaneme na výši užitečného nákladu ( $N_{už}$ ), který se rovná 21 692 kg neboli 21,7 tun.

Z výše zpracovaných údajů získáme výši spotřeby LNG za rok v tunách. Dle toho můžeme vypočítat převoz LNG tun za den, ale musíme vzít v úvahu, že pro města Verchniaja Muna a Nakyn je doba zásobování menší, konkrétně jde o 100 dnů. Výpočet provedeme tak, že spotřebu LNG ( $S_{LNG}$ ) v tunách za rok vydělíme možnou dobou zásobování ( $t_{zas}$ ) a dostaneme potřebný přepravní objem ( $V_{LNG}$ ) v tunách za den.

$$V_{LNG} = \frac{S_{LNG}}{t_{zas}} [tun/den] \quad (3)$$

kde  $S_{LNG}$  - spotřeba zkapalněného plynu [t/rok]

$t_{zas}$  – doba zásobování [den/rok]

<sup>5</sup> www.chart-ferox.com

V dalším kroku získanou hodnotu vydělíme užitečným nákladem cisterny a dostaneme potřebné množství cisteren ( $P_{cis}$ ), které ukazuje počet jízd za den pro přepravu LNG do cílových destinací.

$$P_{cis} = \frac{V_{LNG}}{N_{už}} [cisteren/den] \quad (4)$$

kde  $V_{LNG}$  - potřebný přepravní objem [tun/den]

$N_{už}$  – užitečný náklad [tun/cisterny]

V následující tabulce 4.4 je zobrazen počet potřebných cisteren pro převoz LNG do cílových měst od zkapalňovače umístěném v Ajchalu a ostatních předpokládaných měst umístění zkapalňovače.

Tabulka 4.4: Počet cisteren za den, potřebný pro převoz (zdroje: Alrosa, a.s.; vlastní výpočty)

			Umístění zkapalňovače			
			Ajchal	Mirnyj	Morkoka	Olgudach
Cílové destinace	Verchniaja Muna	cisterny/den	7			
	Udačny	cisterny/den	3			
	Ajchal	cisterny/den		1	1	1
	Nakyn	cisterny/den		12	12	12
	Mirnyj	cisterny/den			3	3
	Lensk	cisterny/den		1	1	1
	Celkem	cisterny/den	10	14	17	17

Poznámka: V případě umístění zkapalňovače v Mirném a v Ajchalu se uvažuje, že by zkapalňovací zařízení bylo spojeno s plnicí stanicí vozidel, takže převoz cisternami pro místní spotřebu by nebyl nutný.

V konečné fázi spočítáme celkový počet kilometrů ujetých za rok.

$$V_{km} = L \times P_{cis} \times t_{zas} \quad [km/rok] \quad (5)$$

kde  $L$  - vzdálenost [km/jízda]

$P_{cis}$  – počet cisteren [jízda/den]

$t_{zas}$  – doba zásobování [den/rok]

Dle provedených výpočtů na základě vzorců jsou uvedeny hodnoty v tabulce 4.5.



Tabulka 4.5: Kilometrový výkon ( $V_{km/rok}$ ) (zdroje: Alrosa, a.s.; vlastní výpočty)

			Umístění zkapalňovače			
			Ajchal	Mirnyj	Morkoka	Olgujdach
Cílové destinace	Verchniaja Muna*	km/rok	173 600			
	Udačny	km/rok	76 650			
	Ajchal	km/rok		167 900	60 955	105 485
	Nakyn*	km/rok		656 400	403 200	451 200
	Mirnyj	km/rok			309 885	187 245
	Lensk	km/rok		87 600	190 895	150 015
	Celkem	km/rok	250 250	911 900	964 935	893 945

Z výše uvedených údajů vyplývá, že nejvýhodnější polohu zaujímá město Olgujdach. Rovněž můžeme pozorovat, že mezi hodnotami měst Mirnyj a Olgujdach není patrný příliš velký rozdíl. To umožňuje eventuálně respektovat skutečnost, že Mirnyj je větší a významnější město s dalšími satelitními městečky v okolí a křižovatkou silnic, což umožňuje další rozvoj průmyslu v okolí a tedy i budoucí příležitosti pro LNG technologii.

### 4.3. Výpočet počtu vozidel

Výpočet počtu vozidel lze realizovat prostřednictvím výpočtu množství cisteren, které je nutno obstarat pro převoz potřebného objemu LNG. Je třeba vzít v úvahu skutečnost, že z důvodu existence a možnosti využití zimních drah se dopravní období v Verchniaja Muna a Nakyn zkrátí přibližně na 100 dnů. Velmi záleží na konkrétních klimatických podmínkách panujících v zimě. K výše uvedeným údajům přidáme výpočet počtu cisteren za rok (viz. tabulka 4.6).

Tabulka 4.6: Výpočet počtu cisteren (zdroje: Alrosa, a.s.; vlastní výpočty)

	Potřebný převoz LNG		Počet cisteren	
	tun/rok	tun/den	cisteren/den	cisteren/rok
Verchniaja Muna*	13 846	139	7	700
Udačny	17 888	50	3	1 095
Ajchal	35 604	98	5	1 825
Nakyn*	24 510	246	12	1 200
Mirnyj	21 070	58	3	1 095
Lensk	4 300	12	1	365
Celkem	117 218	1 173	55	20 075

Dalším partikulárním úkolem je dopočítat počet použitých vozidel. Předpokládáme, že pro každé vozidlo platí (viz. tabulka 4.7):

Tabulka 4.7: Základní údaje (zdroje: Chart Ferox, a.s.)

Rychlost	$v$	km/h	40
Natankování/vykládávání	$t_{n/v}$	h	3
Odpočinek	$t_O$	h	4
Rezerva na údržbu	$t_R$	h	3

Výše uvedené údaje lze využít k potřebnému výpočtu na základě skutečnosti, že celkový čas jízdy ( $t_C$ ) se skládá z těchto dílčích časů [2]:

$$t_C = \frac{L}{v} + t_{n/v} + t_O + t_R [h]$$

(5)

kde  $L$  - vzdálenost [km]

$v$  – rychlost [km/h]

$t_O$  – odpočinek [h]

$t_R$  – rezerva na údržbu [h]

Hodnoty, které jsem získala, vyjádřím v minutách a zanesu do tabulky 4.8.

Tabulka 4.8: Doba jízdy v minutách (zdroje: Chart Ferox, a.s.; vlastní výpočty)

			Umístění zkapalňovače			
			Ajchal	Mirnyj	Morkoka	Olgudach
Cílové destinace	Verchniaja Muna	min	1335			
	Udačny	min	810			
	Ajchal	min		1980	1101	1467
	Nakyn	min		2241	1608	1728
	Mirnyj	min			1449	1113
	Lensk	min		1320	2169	1833

Z údajů, ke kterým jsem se dopracovala, mohu následně vykalkulovat potřebný počet vozidel (viz. tabulka 4.9):

Tabulka 4.9: Počet vozidel (zdroje: Chart Ferox, a.s.; vlastní výpočty)

			Umístění zkapařovače			
			Ajchal	Mirnyj	Morkoka	Olgudach
Cílové destinace	Verchniaja Muna	vozidlo	7			
	Udačny	vozidlo	2			
	Ajchal	vozidlo		2	1	1
	Nakyn	vozidlo		19	14	15
	Mirnyj	vozidlo			4	3
	Lensk	vozidlo		1	2	2
	Celkem	vozidlo	9	22	21	21

Výsledky uvedené v tabulce ještě jednou potvrzují, že rozdíl mezi sídlem Mirnyj a ostatními městy z hlediska místa nejvhodnějšího pro umístění zkapařovače je minimální. Osobně dávám přednost městu Mirnyj, protože je to moderní středisko s rozvinutou infrastrukturou a má kvalitní ekonomickou, sociální i kulturní vybavenost. Z těchto racionálních důvodů je rozumnější a vhodnější zkapařovač rozmístit právě v městě Mirnyj.

#### 4.4. Spotřeba LNG jako paliva pro přepravu

Standardní spotřeba LNG na 100 km ( $S_{100}$ ) je přibližně  $40^6 \text{ Nm}^3$  ( $1 \text{ Nm}^3 = 0,72 \text{ kg}$ ), avšak aplikační množství pohonných hmot se zvýšila v důsledku následujících podmínek: používání vozidla v zimě; v závislosti na klimatických podmínkách různých regionů země; kvalitativní úroveň silnic; přeprava nestandardního artiklu – velkoformátových produktů, abnormálně těžkých výrobků a nebezpečného zboží. V našem případě spotřeba LNG činí  $80^7 \text{ Nm}^3$  za 100 km. V minulé kapitole byly uvedeny výpočty kilometrového výkonu za rok, na základě těchto získaných hodnot můžeme nyní vypočítat potřebné LNG jako paliva potřebného pro přepravu ( $S_{LNG(P)}$ ).

$$S_{LNG(P)} = \frac{V_{[km/rok]}}{S_{100}} * L \quad [km/rok] \quad (6)$$

kde  $L$  - vzdálenost [ $km$ ]

$S_{100}$  - vzdálenost 100 [ $km$ ]

$V_{km}$  – kilometrový výkon [ $km/rok$ ]

V důsledku toho získáme tyto výsledky (viz. tabulka 4.10):

<sup>6</sup> Odborný odhad spol. Chart Ferox, a.s.

<sup>7</sup> Odborný odhad spol. Chart Ferox, a.s.

Tabulka 4.10: Vypočet spotřeby LNG jako paliva pro přepravu (zdroje: Chart Ferox, a.s.; vlastní výpočty)

			Umístění zkapalňovače			
			Ajchal	Mirnyj	Morkoka	Olgudach
Cílové destinace	Verchniaja Muna*	km/rok	173 600			
	Udačny	km/rok	76 650			
	Ajchal	km/rok		167 900	60 955	105 485
	Nakyn*	km/rok		656 400	403 200	451 200
	Mirnyj	km/rok			309 885	187 245
	Lensk	km/rok		87 600	190 895	150 015
	Celkem	km/rok	250 250	911 900	964 935	893 945
	S <sub>LNG(P)</sub>	m <sup>3</sup>	200 200	729 520	71 948	715 156

Celková palivová náročnost přepravy: celková spotřeba LNG pro dopravu tedy bude součet hodnot v poslední řádce tabulky, což je 988 033 Nm<sup>3</sup> = 711383 kg = 711 tun/rok = 1,95 tuny/den, což je 0,59% z celkového zkapalňovacího výkonu a je tedy možné toto množství vykryt z rezervy zkapalňovacího výkonu, jak vyplývá z tabulky 4.3 v hodnotě 27 – 21 = 6 tun/den.

#### 4.5. Velikost skladu LNG u zkapalňovače

Lze předpokládat, že doba skladování LNG se bude pohybovat kolem tří dnů. Jak již bylo řečeno, máme k dispozici zkapalňovač, který vyrábí 165 tun za den. To znamená, že za tři dny se nakumuluje na skladě 495 tun. Známe hustotu LNG, a na základě tohoto poznatku můžeme vypočítat a zjistit objem, který 495 tun představuje. Výsledný objem činí 1178,6 m<sup>3</sup>. Protože plnění cisternového tanku může dosáhnout maximálně 90 %, faktický objem dosahuje 1310 m<sup>3</sup>. Pro natankování takového množství budeme potřebovat dva standardní tanky s objemem 683 m<sup>3</sup>. Z toho vyplývá, sklady u zkapalňovače musí obsahovat náplň alespoň do 2 tanků s objemem 683 m<sup>3</sup>.

#### 4.6. Velikost skladu LNG v cílových destinacích

V následující tabulce 4.11 jsou uvedeny údaje denní spotřeby LNG ve vybraných městech:

Tabulka 4.11: Spotřeba LNG tun za den (zdroje: Alrosa, a.s.; vlastní výpočty)

Spotřeba LNG	
	t/den
Verchniaja Muna*	37,93
Udačny	49,01
Ajchal	97,55
Nakyn*	67,15
Mirnyj	57,73
Lensk	11,78
Celkem	321,15

Musíme počítat s tím, že zimní dráha ve dvou uvedených městech, Verchniaja Muna a Nakyn, je v provozu jen 3 měsíce, maximálně 4 měsíce v roce. Z toho vyplývá skutečnost, že je nutné předzásobit tato města LNG minimálně na 9 měsíců dopředu v důsledku stávajících klimatických podmínek. Zádržná doba v těchto dvou městech bude 265 dnů, což je podstatně více než u ostatních měst, u kterých lze předpokládat zádržná doba v rozmezí asi 14 dnů. To můžeme vidět v tabulce 4.12.

Tabulka 4.12: Skladovací kapacity (zdroje: Chart Ferox, a.s.; vlastní výpočty)

	Zádržná doba	Skladovací kapacita	Skladovací kapacita (Čistý objem)	Hrubý objem
	dny	tun	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Verchniaja Muna*	265	10 053	23 653	26 281
Udačny	14	686	1614	1794
Ajchal	14	1366	3213	3570
Nakyn*	265	17 795	41 870	46 523
Mirnyj	14	808	1902	2113
Lensk	14	165	388	431

Následně je nutné vykalkulovat skladovací kapacitu v tunách za den, a poté získat hodnoty čistého objemu. Je potřebné získat 90% hodnoty, protože čistý objem z jednoho tanku o obsahu 1000 m<sup>3</sup> je 900 m<sup>3</sup> a takovýmto způsobem lze najít hrubý objem u všech sledovaných měst.

Na základě údajů společnosti Chart- Ferox, a. s. si můžeme zvolit variantu, s jakým objemem tanku budeme počítat, tedy jak velké budou tanky, které budou používány pro skladování.

V přímé závislosti na velikosti tanků zjistíme, jaký počet tanků bude nutné použít (viz. tabulka 4.13).

Tabulka 4.13: Objem a počet potřebných tanků v cílových destinacích (zdroje: Chart Ferox, a.s.; vlastní výpočty)

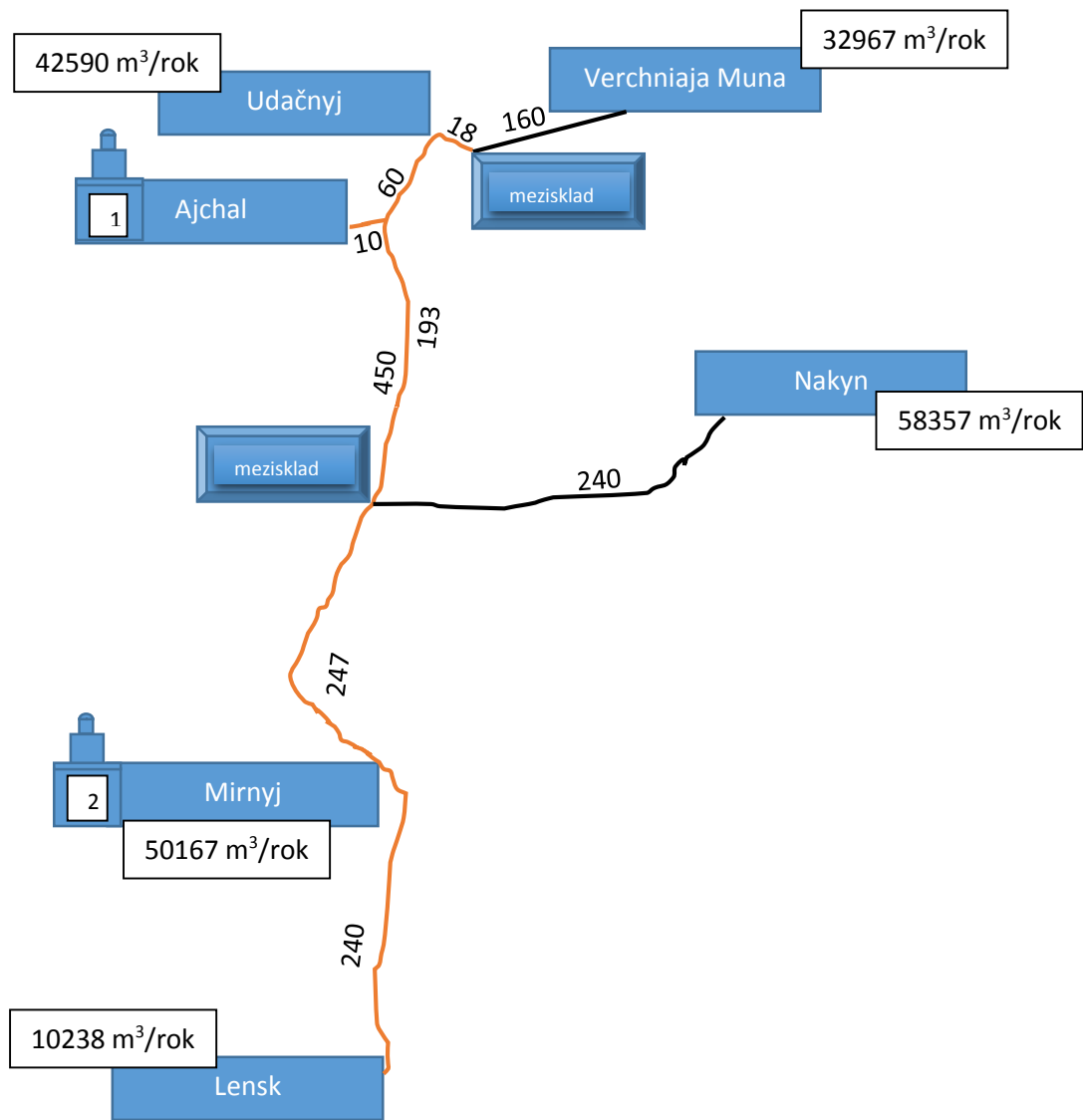
	Hrubý objem	1000 m <sup>3</sup>	683 m <sup>3</sup>	450 m <sup>3</sup>	301 m <sup>3</sup>	123 m <sup>3</sup>	Celkem
	m <sup>3</sup>	kus	kus	kus	kus	kus	m <sup>3</sup>
Verchniaja Muna*	26 281	26			1		26 301
Udačny	1794	2					2000
Ajchal	3570	3	1				3683
Nakyn*	46 523	46	1				46 683
Mirnyj	2113	2				1	2123
Lensk	431			1			450

Ve výše uvedených výpočtech a z nich vyplývajících výsledných interpretacích, vysvětleních a komentářích jsem se pokusila ukázat možné varianty umístění zkapalňovače a současně identifikovat nejvýhodnější možnosti.

Velikost skladu u zkapalňovače mám vyřešenou, ale vyvstává problém, že vedle zkapalňovače musíme mít k dispozici i sklady na straně pro ta města, do kterých není možný celoroční dovoz zkapalněného plynu. Pro tyto případy bych chtěla navrhnout řešení - vybudování meziskladů, čímž by se zkrátila vzdálenost dodávky i čas dovozu.

Navrhovala bych umístit mezisklady na křižovatkách, na kterých se kříží hlavní komunikace a začínají zimní dráhy do měst Verchniaja Muna a Nakynu.

Závěrem bych chtěla prezentovat vybraná města vhodná pro instalaci zkapalňovačů a jejich rozmístění za účelem zásobování (viz. obrázek 4.2).



Obrázek 4.2: Umístění zkapalňovače (zdroje: Alrosa, a.s.; vlastní obrázek)

## 5. Rozpočet nákladů pro systém zásobování LNG

Investicemi rozumíme pořízení dlouhodobých fixních aktiv podniku. Na základě návrhu logistického systému je potřebné propočítat nezbytné investiční náklady určené pro systém zásobování LNG v západní části Jakutska. Z tohoto důvodu je nutné spočítat všechny vynaložené náklady determinované na každou část systému. Primárně budou vykalkulovány investice týkající se zkapalňovače [1].

### 5.1. Investiční náklady výrobce LNG

#### 5.1.1. Zkapalňovací závod

Vývoj LNG jako produktu s nižšími emisemi, jako ekonomicky výhodného a současně bezpečného paliva, jako adekvátní alternativy k naftě, se jeví jako efektivní. Z těchto důvodů se vývoj a následné praktické využití LNG ukazuje jako aplikace s významným potenciálem do budoucnosti. Podniky a společnosti zabývající se LNG jsou partikulárním způsobem zapojeny do všech procesů výroby LNG – do zkapalňování, distribuce, skladování i konečného využití. Z toho vyplývá, že každá společnost bude preferovat co možná nejefektivnější řešení zkapalňování, a to přímo v prostoru distribuce LNG.

Tato práce předpokládá dva zkapalňovače C100N vyznačující se zkapalňovací kapacitou 100.000 GPD (165 TPD).

#### 5.1.2. Rozpočet - Cena - Rozpis pro zkapalňovač C100N (165 TPD)

Rozpočtová cena pro zkapalňovací sekce včetně předčištění činí 17 374 000 dolarů. Pro naše výpočty konvertujeme měnu v euro – výsledná suma bude představovat 15 886 000 euro<sup>8</sup>. Tato částka zahrnuje zařízení potřebné k předběžnému předčištění a zkapalňování, systém speciálního potrubního propojení bloků pro vedení zemního plynu a rovněž Chart technologii, která realizuje procesní cyklus zkapalňování zemního plynu s dusíkem jako chladivem. V rámci kompletní technologie Chart by byly navrženy a dodány: kompresor, chladicí blok (výměníky tepla pájené z profilovaných hliníkových plechů, vnitřní vybavení bloku, regulačních ventily a další strojní a měřicí vybavení), vzduchem chlazený výměník tepla N<sup>2</sup> kompresoru a expanzní turbína, sekce předčištění sestávající se z aminové absorpční jednotky na odstranění CO<sub>2</sub> a adsorbérů s náplní molekulárního síta za účelem dehydratace jednotek bude dodána společností Chart E&C.

Pokud jde o další postup, týkající se výše rozpočtu a ceny zřízení a instalace zkapalňovače, vycházíme z následujícího odhadu nákladů dodavatelské společnosti Chart E&C:

---

<sup>8</sup> Chart Ferox, a.s.



- V rámci celkové bilance závodu odhaduji investice dalších 6 401 000 euro, které budou vynaloženy na specializované vybavení podniku, na projektové práce, pro připojení na místní síť, na elektrické a automatizované řídicí systémy, atd.
  - Pro kompletní instalaci a dodávky zařízení nutného pro kompletní celého závodu je nutné investice navýšit o dalších 15 543 000 euro a dále částka 914 327 euro bude zapotřebí pro prvotní uvedení celého systému do provozu.
  - Na základě těchto odborných odhadů lze předpokládat, že celkové investiční náklady vybudování zkapalňovacího závodu budou 38 745 000 euro. Tato suma však nezahrnuje konkrétní stavební část a rovněž výstavbu a provoz elektrárny.
- a) Stavební část je vykalkulována na 20 % celkových nákladů, což představuje 7 749 000 euro.
  - b) K tomuto kalkulu ještě musíme připočítat náklady na dopravu zkapalňovače, které činí odhadem 10 %. Tato procenta vynásobím částkou 15 886 000, a dostaneme se k úhrnné částce 1 443 000 euro za dopravu zkapalňovací technologie.
  - c) Dále budou součástí zkapalňovače kogenerační jednotky pro výrobu elektrické energie. Spotřeba elektrické energie ( $S_E$ ) je 0,6 kWh/kg LNG, což v rámci převodu váhových jednotek znamená 600 kWh/tunu LNG. Jestliže je objem výroby ( $V_{LNG}$ ) 165 tun/den, můžeme propočítat potřebný elektrický výkon:

$$P = V_{LNG} * \frac{S_E}{t} = 4125 \text{ kW} = 4,1 \text{ MW} \quad (7)$$

kde  $V_{LNG}$  - potřebný přepravní objem [tun/den]

$S_E$  - spotřeba elektrické energie [kWh/tun]

$t$  – čas za jeden den [h/den]

Z propočtů vyplývá, že je zapotřebí využít tři kogenerační jednotky po dvou megawatttech determinované pro každý zkapalňovač. V této situaci je optimální řešení takové, že se vytvoří tři funkční bloky za předpokladu, že vždy dva budou v provozu. To prakticky znamená - jestliže dojde k výpadku jednoho bloku nebo se bude opravovat, budeme mít k dispozici stále dva další. Takové standardní kogenerační jednotky jsou zařízení determinovaná pro společnou výrobu tepla a elektrické energie, čímž se v praxi zabývá například společnost TEDOM s. r. o. Jejímž primárním předmětem činnosti je vývoj a výroba kogeneračních jednotek s plynovými spalovacími motory. V této souvislosti je nutné doplnit cenu použité kogenerační jednotky Tedom Quanto D20006, 3 C, která představuje 916 000 euro/ks. Tato cena rovněž zahrnuje využití tepla a havarijní chlazení. Dále je nezbytné doplnit cenu VN rozvaděče ABB 6,3 kV, a ta dosahuje výše 53 000 euro/ks. Náklady na dopravu představují 10 %, což je ve výsledku 96 900 euro. Stavební část kogenerační jednotky rovněž bude dosahovat výše 10 %.

### 5.1.3. Retenční sklad LNG u zkapalňovače

Pro instalaci zkapalňovače je zapotřebí provést výpočty velikosti a počtu tanků retenčního skladu umožňujícího dobu tří denního skladování LNG a finální nakládání vozidel v místě zkapalňovače.

Objem plynu při používání zkapalňovače C100N s kapacitou představuje 165 t/den. Za 3 dny bude objem plynu dosahovat 495 tun, což po převodu v rámci objemových jednotek činí 1179 m<sup>3</sup>. Při plnění tanku do výše 90 % potřebujeme vykalkulovat objem pro 1310 m<sup>3</sup>. Jestliže předpokládáme, že objem standardního tanku EX-Works Chart Ferox je 683 m<sup>3</sup>, z této skutečnosti vyplývá, že musíme použít 2 tanky.

1. Cena dvou tanků se rovná 1760 tisíc euro
2. Cena instalace se počítá připočtením 25 % k ceně tanku
3. Dále musíme doplnit rozpočet výpočtem ceny dopravy:
  - a) Námořní a říční doprava: Hamburg-Murmansk-Tiksi-Lensk (30 %)
  - b) Naložení, vyložení a doprava po silnici od 10 km (6 %) do 900 km (12 %)
4. Dalším krokem je montáž na místě, za kterou připočteme 20 % k ceně technologie, která se skládá z prvních dvou kroků
5. Inženýring+utilizace+commissioning se rovná 10 % z ceny technologie.

Tabulka 5.1: Investiční náklady pro skladování dvou tanků vedle zkapalňovače (zdroje: Chart Ferox, a.s.; vlastní výpočty)

Cena 2 tanků	tis. €		1760
Cena kompletujícího zařízení instalace (procentuálně z ceny tanku)	tis. €	25 %	440
Cena technologie	tis. €		2200
Doprava tanku Děčín-Lensk (procentuálně z ceny technologie)	tis. €	30 %	528
Vyložení+doprava po silnici (900 km) (procentuálně z ceny technologie)	tis. €	12 %	211
Vyložení+doprava po silnici (10 km) (procentuálně z ceny technologie)	tis. €	6 %	26
Montáž na místě (procentuálně z ceny technologie)	tis. €	20 %	440
Inženýring+utilizace+commisiong (procentuálně z ceny technologie)	tis. €	10 %	220
Celkem	tis. €		3626

### 5.1.4. Celkové investiční náklady na systém výroby skladování a výdeje LNG

Celkové investiční náklady lze vykalkulovat součtem všech předchozích výpočtů, což je znázorněno v tabulce.

Tabulka 5.2: Celkové investiční náklady (zdroje: Chart Ferox, a.s.; vlastní výpočty)

Jednotka	Množství	Cena za jednotku	Celkem
	kus	€	€
Celková cena dodávky a instalace zkapalňovače	2	38 745 000	77 490 000
Náklady na dopravu zkapalňovače – 20 %	2	1 443 000	2 886 000
Stavební část zkapalňovače - 20 %	2	7 749 000	15 498 000
Náklady na dopravu zkapalňovače – 20 %	2	7 749 000	15 498 000
Kogenerační jednotka Tedom Quanto D2000 6,3 C	6	916 000	5 496 000
VN rozvaděč ABB 6,3 kV	6	53 000	318 000
Náklady na dopravu kogenerační jednotky Tedom Quanto D2000 6,3 C a VN rozvaděč ABB 6,3 kV - 10 %	6	96 900	581 400
Stavební část kogenerační jednotky Tedom Quanto D2000 6,3 C a VN rozvaděč ABB 6,3 kV	6	96 900	581 400
Sklady u zkapalňovače	2	3 626 000	7 252 000
<b>Celkové investiční náklady na zkapalňovače</b>		<b>52725800</b>	<b>105 451 600</b>

## 5.2. Provozní náklady výrobce LNG

### 5.2.1. Náklady na plyn pro zkapalňování

Vycházíme z toho, že z plynovodu získáváme plyn za cenu 200 euro/tunu. Spotřeba elektrické energie ( $S_E$ ) na provoz zkapalňovače je 0,6 kWh/kg, což je 600 kWh/tun. Víme, že

účinnost ( $\eta$ ) se přibližně rovná 41,9 %<sup>9</sup>. Z těchto získaných hodnot můžeme následně vypočítat primární energii ( $E_p$ ) plynu pro pohon motorů plynové elektrárny, což bude se rovnat:

$$E_p = \frac{S_E}{\eta} = 1432 \left[ \frac{kWh}{tun} \right] \quad (8)$$

kde  $S_E$  - spotřeba elektrické energie [kWh/tun]

$\eta$  – elektrická účinnost

Z předešlých výpočtů vyplývá, že celkové zkapalňované množství plynu ( $LNG_{ZK}$ ) prostřednictvím zkapalňovače se rovná 165 tunám za den. To znamená, že využitím dvou zkapalňovačů získáme 330 tun/den. Tuto denní hodnotu je zapotřebí převést na hodiny, takže ve výsledku se bude jednat o  $LNG_{ZK} = 13,75$  tun za hodinu, po převodu na kilogramy o 13 750 kg/h.

Pokud toto množství vynásobíme primární energií ( $E_p$ ), dostaneme výkon ( $P$ ), který představuje hodnotu 19 690 kW.

$$P = LNG_{ZK} * E_p = 19690 \text{ kW} \quad (9)$$

kde  $LNG_{ZK}$  – zkapalňované množství plynu [tun/h]

$E_p$  - primární energie [kWh/tun]

Poté je zapotřebí vypočítat množství spáleného plynu ( $LNG_{SPAL}$ ), které se vypočítá jako množství potřebné primární energie  $E_p$ . Výhřevnost zemního plynu činí 13,9 kWh/kg:

$$LNG_{SPAL} = \frac{P}{T_{ZTR}} = 1417 \text{ kg/h} \quad (10)$$

kde  $P$  – výkon [kW]

$T_{ZTR}$  - výhřevnost zemního plynu [kWh/kg]

Dalším partikulárním úkolem je najít poměr spáleného plynu ke zkapalňovanému ( $P_{S/Z}$ ):

$$P_{S/Z} = \frac{LNG_{SPAL}}{LNG_{ZK}} = 0,103 \frac{\text{kg spáleného plynu}}{\text{kg zkapalňovaného plynu}} \quad (11)$$

kde  $LNG_{SPAL}$  – spálené množství plynu [kg/h]

$LNG_{ZK}$  – zkapalňované množství plynu [kg/h]

Následně můžeme spočítat spotřebu plynu pro zkapalňovače ( $S_{LNGZK}$ ), která se rovná součinu poměru ( $P_{S/Z}$ ) a celkového množství zkapalňovaného plynu:

---

<sup>9</sup> Viz. příloha 1

$$S_{LNGZK} = P_{S/Z} * LNG_{ZK} = 33,9 \text{ [tun/den]} \quad (12)$$

kde  $LNG_{ZK}$  – zkapařňované množství plynu [tun/h]

$P_{S/Z}$  - poměr spáleného plynu

Z této hodnoty vypočítáme roční spotřebu plynu ( $S_{LNGpot}$ ), která se rovná 12 406 tunám. Toto množství plynu je nutno odebrat z dodávkového potrubí navíc nad zkapařňované množství plynu.

Roční spotřeba plynu tedy bude:

$$S_{plynu-rok} = LNG_{ZK} * t + S_{LNGpot} = 132856 \text{ [tun/rok]} \quad (13)$$

kde  $LNG_{ZK}$  – zkapařňované množství plynu [tun/den]

$t$  - dñí za rok [dñí/rok]

$S_{LNGpot}$  – roční spotřebu plynu z dodávkového potrubí navíc [tun/rok]

Cenu plynu pro rovnoměrný nepřetržitý odběr pro průmyslové odběratele pro nedostatek údajů odhadneme jako polovinu dolní ceny plynu pro domácnosti v republice Sacha, která činí 4 300<sup>10</sup> Rublů za 1000 Nm<sup>3</sup>, tedy 4 300/0,72 = 5 970 Rub/tunu. Polovina pro průmyslové spotřebitele tedy bude 2 990 Rub/tunu. Při nynějším kursu 77 Rub/€ je to tedy 39 EUR/tunu

### 5.2.2. Náklady na pracovní síly

Předpokládáme, že celkem bude potřeba na závodě zkapařňování LNG 20 pracovníků, ve dvou závodech tedy 40 pracovníků.

Náklady na pracovní hodinu odhadneme v nepříznivých podmínkách Sibire a specifice ruské ekonomiky na shodné s náklady v průmyslových závodech v ČR na 15 euro/hod.

Roční náklady na 40 pracovníků:

Na 1 prac. 365 dñí*15 euro/hod*8 hod/den	43 800 €/rok
Na 40 prac.	1 752 000 €/rok
Roční výroba LNG:	132 856 tun/rok
Měrné provozní náklady na pracovní síly:	13,2 euro/tunu

<sup>10</sup> Cena plynu pro domácnosti v republice Sacha: [http://energybase.ru/tariff/respublika-saha-yakutiya/2015?Tariff%5Btype\\_id%5D=2](http://energybase.ru/tariff/respublika-saha-yakutiya/2015?Tariff%5Btype_id%5D=2)

### **5.2.3. Celkové provozní náklady na jednotku výroby**

Měrné provozní náklady na odebraný plyn:	39,0 euro/tunu
Měrné provozní náklady na pracovní síly:	13,2 euro /tunu
Celkem provozní náklady na jednotku výroby:	52,2 euro /tunu

### **5.3. Orientační odhad ceny LNG od výrobce LNG**

Investice:	105 451 600 euro
zvolená doba splatnosti investice:	7 let
Výroba LNG za dobu splatnosti:	
132 856 tun/rok * 7 let =	929 992 tun za dobu splatnosti
Měrný podíl investic na jednotku výroby:	
105 451 600 / 929 992 =	113,4 euro /tunu
Zisk výrobce LNG	25%
Cena LNG u výrobce:	142 euro /tunu

Tato cena je v porovnání s cenou, za kterou je možno získat LNG přímo na Evropských námořních terminálech (300 až 400 euro /tunu) velmi nízká.

### **5.4. Náklady na systém distribuce LNG**

#### **5.4.1. Plnicí stanice LNG**

Podle vypočteného množství spotřeby paliva a na základě skutečnosti, že tahač s jednou naplněnou nádraží LNG může absolvovat transport do 700 km, zvolíme 4 plnicí stanice, přičemž dvě z nich budou umístěné přímo u zkapalňovače. Třetí bude nainstalována na křižovatce, kde lze odbočit do Nakynu, ve kterém je mezisklad. Čtvrtou stanicí bych umístila v Lensku, a to z toho důvodu, že Lensk neleží příliš daleko od stanice v Mirnem, jedná se o trasu 240 km dlouhou. Avšak existuje projekt<sup>11</sup>, dle kterého Lensk bude vynikat novou a rozšířenou infrastrukturou týkající se především zásobování a přepravy helia. Nelze opominout, že Lensk je rovněž významný obchodní přístav pro spojení se Severním Ledovým Oceánem, ve kterém je patrný nepřetržitý a objemově velký tok zboží. Investiční náklady každé plnicí stanice představují 300 000 euro, a v rámci této částky je možné provozovat i malou stanicí s kapacitou plnění asi 50 tahačů za den. Lze naplnit až 100 jednotek za den, a dokonce je možné toto číslo i překročit, avšak to už prakticky znamená stání v dlouhých, časově

---

<sup>11</sup> <http://www.1sn.ru/121060.html>

náročných frontách na plnění v dopravních zásobovacích špičkách. Za účelem vyřešení tohoto problému je možné vybudovat plnicí stanice s dvojnásobnou kapacitou, ovšem za 470 000 euro. Jestliže budou k dispozici 4 plně funkční plnicí stanice, ve finální investiční částce se dostaneme na 1 880 000 euro.

#### 5.4.2. Návěsné cisterny

Standardní návěsné cisterny s objemem 58 m<sup>3</sup>, které lze používat pro převoz LNG, stojí 300 000 euro<sup>12</sup>. Nemůžeme opominout, že zde je nezbytné doplnit výpočty ceny nájmu tahače, který má nainstalováno zařízení podle ADR. Částka se pohybuje přibližně okolo 70 000 euro. Ve výpočtu množství cisteren získáme počet vozidel potřebných pro převoz LNG.

Tabulka 5.3: Počet vozidel pro převoz LNG (zdroje: Chart Ferox, a.s.; vlastní výpočty)

			Umístění zkapalňovače	
			Ajchal	Mirnyj
Cílové destinace	Verchniaja Muna	vozidlo	7	
	Udačny	vozidlo	2	
	Ajchal	vozidlo		2
	Nakyn	vozidlo		19
	Mirnyj	vozidlo		
	Lensk	vozidlo		1
	Celkem	vozidlo	9	22

Z tabulky lze vydedukovat, že celkovým součtem získáme počet 31 cisteren. Jestliže tento počet vynásobíme částkou představující cenu jednoho vozidla, dostaneme se na výši 11 470 000 euro.

#### 5.4.3. Dopravní prostředky dodavatele LNG – distribuční tahače

Existující distribuční tahače naftových cisteren budou využity pro transport cisteren LNG. Cena přechodu vozidel na LNG se bude skládat ze tří částí: z ceny palubního systému, z ceny přestavby motoru a z ceny montáže palubního systému. Cena palubního systému LNG pro jeden tahač je 10 000 euro. Přestavba motoru a následná montáž tohoto palubního systému bude dosahovat částky rovněž 10 000 euro, takže výsledná finanční částka se bude rovnat celkem 20 000<sup>13</sup> euro na jeden tahač.

Celkové množství tahačů pro rozvoz LNG bude 31 vozidel, jak uvedeno v kapitole 4.3.

<sup>12</sup> Odborný odhad spol. Chart Ferox, a.s.

<sup>13</sup> Odborný odhad spol. Chart Ferox, a.s.

Do ekonomické rozvahy zahrnu pouze konverzi existujících tahačů z motorové nafty na LNG.

Investiční náklad tedy činí  $33 \times 20\,000 = 660\,000$  euro.

#### **5.4.4. Celkové investiční náklady na distribuci LNG**

Plnicí stanice	1 880 000 euro
Návěsové cisterny	11 470 000 euro
Konverze tahačů	660 000 euro
<b>Celkem</b>	<b>14 010 000 euro</b>

### **5.5. Provozní náklady na distribuci LNG**

#### **5.5.1. Řidiči**

Vzhledem k vytížení řidičů v denním režimu podle tabulky 4.7 a nutnému střídání v 8 hodinové pracovní době předpokládám 3 řidiče na jeden tahač.

Analogicky podle kapitoly 5.2.2:

Na jednoho řidiče	43 800 euro /rok
Na 31 tahačů * 3 řidiči	4 073 400 euro /rok

#### **5.5.2. Palivo pro tahače**

Spotřeba tahače na 100 km	40 Nm <sup>3</sup> /100 km
40 Nm <sup>3</sup> /100 km * 0,72/1000 =	0,0288 tun/km
Počet najetých km za rok <sup>14</sup>	3 021 030 km/rok
spotřeba paliva za rok	87 006 tun/rok

Náklady na palivo za rok dle kapitoly 4.3:

$142 \text{ euro /tunu} * 87\,006 \text{ tun/rok} = 12\,354\,804 \text{ euro /rok}$

#### **5.5.3. Odhad ceny od distributora LNG**

Náklady na řidiče:	4 073 400 euro /rok
Náklady na palivo:	12 354 804 euro R/rok
Náklady celkem:	16 428 204 euro/rok
Roční přeprava LNG:	132 856 tun/rok

---

<sup>14</sup> Viz. kapitola 4.4



Měrné náklady na distribuci: 123,4 euro/tunu

Zisk distributora: 25%

Odhad přidané ceny distributora: 154,6 euro/tunu

Cena od distributora celkem vč. nákupu LNG:

142 euro/tunu od výrobce + 154,6 euro/tunu = 296,6 euro/tunu

Tato cena je opět velmi nízká. V Evropě se dostává LNG ke koncovému spotřebiteli za cenu kolem 600 až 700 euro /tunu.

## 6. Rozbor nákladů u spotřebitele LNG

### 6.1. Investiční náklady u spotřebitele

#### 6.1.1. Sklady u spotřebitele LNG

Propočet velikosti objemu máme uvedený v kapitole 4, ze kterého vyplývá následující tabulka 6.1.

Tabulka 6.1: Potřebné objemy tanků (zdroje: Chart Ferox, a.s.; vlastní výpočty)

	Hrubý objem	1000 m <sup>3</sup>	683 m <sup>3</sup>	450 m <sup>3</sup>	301 m <sup>3</sup>	123 m <sup>3</sup>	Celkem
	m <sup>3</sup>	kus	kus	kus	kus	kus	m <sup>3</sup>
Verchniaja Muna	26 281	26			1		26 301
<i>Mezisklad</i>	26 281	26			1		26 301
Udačny	1794	2					2000
Ajchal	3570	3	1				3683
Nakyn	46 523	46	1				46 683
<i>Mezisklad</i>	46 523	46	1				46 683
Mirnyj	2113	2				1	2123
Lensk	431			1			450

Následně na základě stanovené ceny za jednotku můžeme vypočítat investiční náklady vynaložené na umístění skladu u spotřebitele.

Tabulka 6.2: Ceny tanků (zdroje: Chart Ferox, a.s.; vlastní výpočty)

Objem tanků	Množství	Cena za jednotku <sup>15</sup>	Celkem
m <sup>3</sup>	kus	mil. €	mil. €
1000	151	1,1	166,1
683	3	0,88	2,64
450	1	0,67	0,67
301	2	0,5	1
123	1	0,24	0,24
Celkem			170,65

<sup>15</sup> Viz. příloha 2

Investiční náklady na stavební část a montáž představují 20 %, což je v reálném přepočtu 34,13 milionů euro, a rovněž dopravu z podniku Chart Ferox, a.s. až do koncové instalační stanice, mnohdy v obtížných podmínkách pozemního transportu. Tento tranzit dosahuje výše cca 30 % nákladů, tedy v přepočtu 51 milionů euro.

Celkové investiční náklady do skladů LNG tedy představují  $170,65 + 34,13 + 51 = 255,78$  euro.

### **6.1.2. Konverze dopravních prostředků u spotřebitele (důlní dumpery)**

Budeme předpokládat, že náklady na konverzi různých vozidel jsou přímo úměrné jejich výkonu. Dále předpokládáme, že stupeň využití důlních dumperů je dvakrát vyšší než u běžných silničních tahačů, takže na stejnou spotřebu paliva v porovnání se silničními tahači připadá jen poloviční cena na konverzi. Tohoto přístupu můžeme využít na odhad nákladů na konverzi důlních dumperů, aniž bychom znali jejich výkon a počet.

spotřeba tahače představuje 150 kg/den. Na základě toho lze vypočítat celkové investiční náklady na denní spotřebu paliva. Kalkulaci je možné provést tak, že vydělím investici 20 000 euro denní spotřebou 150 kg/den. Výsledek se bude rovnat 133 euro investic/(kg/den). Jak bylo výše uvedeno, aplikujeme pouze polovinu této hodnoty na dumpery, tedy 66,5 euro investic/(kg/den).

Je nutné vzít v úvahu, že denní celkovou spotřebu vyplývající z denní výroby LNG lze vyčíslit na 330 tun/den, což se rovná 330 000 kg/den. Toto množství vynásobím 66,5 euro/(kg/den), a ve výsledku se dostaneme na 21 945 000 euro na přestavbu všech vozidel u spotřebitele LNG.

### **6.1.3. Celkové investiční náklady u spotřebitele**

Sklady:	255 780 000 euro
Stavební části:	34 130 000 euro
Doprava tanků:	51 000 000 euro
Konverze dumperů:	21 945 000 euro
Celkem:	362 855 000 euro

Rozložíme-li tyto investiční náklady na celkovou dobu splatnosti 7 let, dostaneme roční podíl investičních nákladů 51 836 000 euro/rok.

Rozložením na spotřebu 132 856 tun/rok LNG dostaneme: 39,0 euro/tunu

To je opět poměrně malý přídavek k ceně paliva do vnitřních nákladů spotřebitele.

Konečné náklady pro spotřebitele tedy budou součtem nákupní ceny LNG a nárůstu vnitřních nákladů, tedy:

$$296,6 + 390 = 686,8 \text{ EUR/tunu} = \mathbf{0,68 \text{ EUR/kg LNG}}$$

Tato částka je asi 60% současné ceny CNG v ČR včetně DPH, která je asi o 40% výhodnější než cena energeticky ekvivalentního množství motorové nafty v ČR.

Energeticky ekvivalentní množství nafty v litrech oproti LNG v litrech je 0,54 litru nafty na 1 litr LNG, který váží 0,42 kg<sup>16</sup>. Protože se LNG (i CNG) prodává na kg, můžeme vyčíslit ekvivalent:

$$1 \text{ kg LNG je ekvivalentní: } 0,54/0,42 = 1,29 \text{ litru nafty na kg LNG.}$$

Na internetu je uvedena cena motorové nafty v Jakutsku v lednu roku 2015, která tehdy činí 51,30 Rub/litr<sup>17</sup>, což při tehdejšímu kursu Rublu 70,97 Rub/EUR znamenalo 0,72 EUR/litr.

Cena LNG ekvivalentu nafty by tedy byla 0,93 EUR/ekvivalent kilogramu LNG. Pokud by taková cena zůstala dodnes (cena nafty mezitím stoupala a klesala), znamenalo by to, že pro koncového spotřebitele by byly náklady na LNG po dobu 7 let odepisování vlastních investic pouze o 26% nižší než náklady na motorovou naftu.

Po odepsání investic by však tyto náklady klesly na hodnotu:

$$296,6 \text{ EUR/tunu} = 0,30 \text{ EUR na kg LNG, a byly by tedy o 68\% nižší než náklady na naftu.}$$

V tomto porovnání není zahrnuto, že náklady na naftu při jejím transportu do odlehlých míst s průjezdností 100 dní za rok a nutností provozování velkokapacitních skladů pro vyrovnání roční bilance rovněž významně narostou, takže lze očekávat ještě významnější úspory.

---

<sup>16</sup> <http://www.myland.cz/novinky/?pageID=2>

<sup>17</sup> <http://yakutiamedia.ru/news/sakha/04.01.2015/412956/tseni-na-dizelnoe-toplivo-povisilis-na-severe-yakutii.html>

## Závěr

Na základě uvedených údajů a výpočtů o možnostech rozvoji využití LNG jako alternativního motorového paliva v republice Sacha, a jeho dalším uplatnění na ruském trhu mohou konstatovat následující závěry.

V Rusku, které je zcela soběstačné, se plyn těží i zpracovává přímo v regionech.

Za účelem průmyslového využití bohatých zdrojů plynu v Jakutsku je nutné vyvinout nové efektivní technologie, které by obstály drsných klimatických podmínkách Jakutska V republice Sacha je významná příležitost pro uplatnění LNG v dopravě v povrchových dolech, kde jezdí velké flotily dumperů, takže při velké spotřebě paliva 320 tun LNG za den je možno zajistit jeho efektivní výrobu a v typově homogenních flotilách vozidel zajistit sériovou konverzi vozidel. Zavedení výroby a použití LNG jako paliva v Jakutsku má ekonomické a ekologické důvody, neboť dosavadní využití nafty v hlubokých povrchových dolech způsobuje extrémní znečištění vzduchu. Během celé fáze využití LNG jako pohonné hmoty je rozumný přechod diesellových vozidel na duální režim paliva - motorovou naftu a LNG. Pokud jde o ropu, v Jakutsku zpracování ropy nemá příznivou perspektivu v důsledku nerentabilnosti. Kromě toho stávající naleziště ropy jsou již obsazena velkými nadnárodními společnostmi. Každá náhrada ropy je tedy vítána nejenom z hlediska podnikové ekonomiky ale také z národohospodářských hledisek. Je proto nutné vyvinout úsilí za účelem vývoje a výroby technologií alternativních paliv, především zpracování zemního plynu.

Dle literatury konverze aut s diesellovým motorem na plyn, využívající systém duálního paliva, dovolí snížit spotřebu motorové nafty o 20 % až 80 % v závislosti na podmínkách zatížení motoru a na dodávání plynu do použitého systému. Tato práce řeší jen spotřebu LNG pro náhradu nafty.

Sumární spotřeby nafty v jednotlivých místech provozu vozidel byly zadány společností Alrosa a.s., která provozuje těžební průmysl v západní části republiky Sacha. Z nich jsem provedla přepočítání na ekvivalentní spotřebu zemního plynu. Její hodnota 320 tun/den vedla k volbě zajištění výroby LNG dvěma typovými zkapalňovači LNG firmy Chart E&C.

Důležitým prvkem řešení bylo umístění dvou zkapalňovacích jednotek v logistické síti, která se rozpíná na vzdálenost 700 km po ose sever-jih s dvěstěkilometrovými odbočkami, z nichž dvě mají specifikum průjezdnosti pouze 100 dní v roce. To vyžadovalo návrh velkokapacitních koncových skladů. Při dalším řešení jsem dospěla k závěru, že i na straně výroby bude potřeba vybudovat velkokapacitní mezisklady. Tato zcela mimořádná situace zvyšuje značně investiční náklady, zejména proto, že vakuově izolované skladovací tanky jsou velmi drahou technikou.

Výběr umístění zkapalňovačů byl řešen v jedné fixní a třech variabilních variantách s propočtem délek a zatížení dopravních tras LNG.

V práci jsem musela řešit problém obstarání některých ekonomických dat. Ceny zařízení byly získány od společnosti Chart a od možných subdodavatelů. Údaje o ceně paliv byly získány z nepřímých údajů na internetu a mohou být při skutečném posouzení projektů upřesněny. Projekt je plně zajištěn dostatkem plynu z místního plynovodu. V literatuře se uvádí, že ekonomická efektivnost využívání LNG jako paliva přináší snížení nákladů na pohonné hmoty. Výpočty v literatuře ukazují, že spotřebitelské úspory při používání paliva LNG dosahují hodnot o 44 % až 47 % nižších ve srovnání s tradičním palivem, motorovou naftou. To se potvrdilo i v této práci, kde jsem na základě detailního ekonomického vyhodnocení investičních i provozních nákladů došla k závěru, že náklady provozovatele důlních flotil dumperů na palivo budou do odepsání nákladů na investice do systému o 26% nižší než na ekvivalent motorové nafty a po odepsání nákladů dokonce o 68% nižší. (Vysoké náklady na systém jsou dány zejména nutností vybudování velkokapacitních skladů z důvodu průjezdnosti silnic od zdroje LNG ke spotřebiteli jen 100 dní v roce.) Ačkoliv mé výpočty mohou být založeny na nepřesných datech a možná nezohledňují všechna hlediska, je tento číselný závěr dostatečným důvodem pro to, aby se o provedení konverze vozidel vážně uvažovalo a tato otázka se podrobila dalším odbornějším rozborům.

Výsledkem práce je tedy umístění dvou zkapalňovačů LNG a lokalitách Ajchal a Mirnyj, propočty velikostí skladovacích tanků u zkapalňovačů, navržení myšlenky meziskladů, počet tanků v meziskladech a u konečných spotřebitelů. Ekonomický propočet investic a provozních nákladů u tří na sebe navazujících firem, provozujících zkapalňovače, distribuční soustavu a provoz povrchových dolů, vedl k dosažitelné ceně LNG na poloviční hodnotě ekvivalentu nafty.

# POUŽITÉ ZDROJE

## Literatura

[1]. DUCHOŇ, B., L.ZELENÝ. Inženýrská ekonomika. Praha: C. H. Beck, 2007. ISBN 978-80-7179-763-0.

[2]. SVOBODA V., P.Latýn. Logistika. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 978-800-1027-356.

## Internetové zdroje

[3]. Chart Ferox. Energy [online]. © 2015 [cit. 2015-08-18]. Dostupné z: <<http://www.chartindustries.com/Energy/Energy-Products/LNG-Solutions-Equipment/Storage/Standard-Tanks>>

[4]. Chart Ferox. Businesses & Brands [online]. © 2015 [cit. 2015-08-18]. Dostupné z: <<http://www.chartindustries.com/Businesses/Chart-Ferox>>

[5]. Alternativní pohonné hmoty: zkapalněný zemní plyn-LNG [online]. [cit. 2015-08-18]. Dostupné z: <<http://www.cng.cz/cs/alternativni-pohonne-hmoty-126/>>

[6]. Usnesení předsednictva Sacha [online]. [cit. 2015-08-18]. Dostupné z: <<http://old.lawru.info/base92/part2/d92ru2710.htm>>

[7]. Cena motorové nafty [online]. [cit. 2015-08-18]. Dostupné z: <<http://gradoteka.ru/city/yakutsk/detail/stoimost-zhizni/ceny-na-tovary-i-8uslugi/neprodovolstvennye-tovary/ceny-na-toplivo>>

[8]. CNG+. LNG vs CNG [online]. © 2015 [cit. 2015-08-18]. Dostupné z: <<http://www.cngplus.cz/lng-vs-cng.html>>

[9]. Sacha. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. Last modified on 22. 7. 2015 [cit. 2015-08-18]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Sacha>>

[10]. Plynárenství: zkapalněný zemní plyn (LNG) [online]. [cit. 2015-08-18]. Dostupné z: <<http://oenergetice.cz/technologie/plynarenstvi/zkapalneny-zemni-plyn-lng/>>

[11]. Tedom. Kogenerační jednotky - zemní plyn [online]. [cit. 2015-08-18]. Dostupné z: <<http://oenergetice.cz/technologie/plynarenstvi/zkapalneny-zemni-plyn-lng/>>

# SEZNAM TABULEK

TABULKA 1.1: OBYVATELSTVO JAKUTSKA (ZDROJE: <a href="https://cs.wikipedia.org/wiki/Sacha">HTTPS://CS.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/SACHA</a> )	14
TABULKA 3.1: SPOTŘEBA MOTOROVÉ NAFTY ZA ROK 2013 (ZDROJE: ALROSA, A.S.)	23
TABULKA 3.2: SPOTŘEBA DIESELU ZA ROK (ZDROJE: ALROSA, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	24
TABULKA 3.3: ENERGETICKÉ PARAMETRY PALIV (ZDROJE: CHART FEROX, A.S.)	24
TABULKA 3.4: PŘEVOD POTŘEBNÉHO MNOŽSTVÍ MOTOROVÉ NAFTY DIESEL NA LNG (ZDROJE: ALROSA, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	25
TABULKA 4.1: POTŘEBNÝ OBJEM LNG (ZDROJE: ALROSA, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	26
TABULKA 4.2: TABULKA VZDÁLENOSTÍ (ZDROJE: ALROSA, A.S.)	28
TABULKA 4.3: SPOTŘEBA LNG TUN ZA DEN V CÍLOVÝCH DESTINACÍCH (ZDROJE: ALROSA, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	29
TABULKA 4.4: POČET CISTEREN ZA DEN, POTŘEBNÝ PRO PŘEVOZ (ZDROJE: ALROSA, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	30
TABULKA 4.5: KILOMETROVÝ VÝKON ( $V_{KM/ROK}$ ) (ZDROJE: ALROSA, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	31
TABULKA 4.6: VÝPOČET POČTU CISTEREN (ZDROJE: ALROSA, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	31
TABULKA 4.7: ZÁKLADNÍ ÚDAJE (ZDROJE: CHART FEROX, A.S.)	32
TABULKA 4.8: DOBA JÍZDY V MINUTÁCH (ZDROJE: CHART FEROX, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	32
TABULKA 4.9: POČET VOZIDEL (ZDROJE: CHART FEROX, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	33
TABULKA 4.10: VYPOČET SPOTŘEBY LNG JAKO PALIVA PRO PŘEPRAVU (ZDROJE: CHART FEROX, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	34
TABULKA 4.11: SPOTŘEBA LNG TUN ZA DEN (ZDROJE: ALROSA, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	35
TABULKA 4.12: SKLADOVACÍ KAPACITY (ZDROJE: CHART FEROX, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	35
TABULKA 4.13: OBJEM A POČET POTŘEBNÝCH TANKŮ V CÍLOVÝCH DESTINACÍCH (ZDROJE: CHART FEROX, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	36
TABULKA 5.1: INVESTIČNÍ NÁKLADY PRO SKLADOVÁNÍ DVOU TANKŮ VEDLE ZKAPALŇOVAČE (ZDROJE: CHART FEROX, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	40
TABULKA 5.2: CELKOVÉ INVESTIČNÍ NÁKLADY (ZDROJE: CHART FEROX, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	41
TABULKA 5.3: POČET VOZIDEL PRO PŘEVOZ LNG (ZDROJE: CHART FEROX, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	45
TABULKA 6.1: POTŘEBNÉ OBJEMY TANKŮ (ZDROJE: CHART FEROX, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	48
TABULKA 6.2: CENY TANKŮ (ZDROJE: CHART FEROX, A.S.; VLASTNÍ VÝPOČTY)	48



## SEZNAM OBRAZKU

OBRÁZEK 1.1: JAKUTSKO (ZDROJE: <a href="http://investyakutia.com">HTTP://INVESTYAKUTIA.COM</a> )	10
OBRÁZEK 1.2: LOŽISKA PLYNU A NAFTY JAKUTSKA (ZDROJE: <a href="http://www.kommersant.ru/doc/1054024">HTTP://WWW.KOMMERSANT.RU/DOC/1054024</a> )	15
OBRÁZEK 3.1: MAPA PRŮMYSLOVÉ ZÓNY ALROSA, A.S. NA ZÁPADU JAKUTSKA (ZDROJE: ALROSA, A.S.)	22
OBRÁZEK 4.1: NÁVRH ROZMÍSTĚNÍ ZKAPALŇOVAČE (ZDROJE: ALROSA, A.S.; VLASTNÍ OBRÁZEK)	27
OBRÁZEK 4.2: UMÍSTĚNÍ ZKAPALŇOVAČE (ZDROJE: ALROSA, A.S.; VLASTNÍ OBRÁZEK)	37

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1.      Základní technické údaje – Zemní plyn
- Příloha 2.      Kapacity tanku
- Příloha 3.      Schéma zkapalňovače

Příloha 1. Základní technické údaje – Zemní plyn (zdroje: Tedom).

Typ jednotky	Elektrický výkon (kW)	Tepelný výkon (kW)		Elektrická účinnost (%)	Tepelná účinnost (%)		Celková účinnost (%)		Příkon v palivu (kW)
		standardní	zvýšený*		standardní	zvýšená*	standardní	zvýšená*	
Micro T7	7	17,2	19,8	27,0	66,3	76,4	93,3	103,4	25,9
Micro T30	30	59,4	69	32,0	63,3	73,6	95,3	105,6	93,8
Micro T33**	33	63,7	74,2	32,5	62,8	73,1	95,3	105,6	101,5
Micro T50	48	91,0	106,8	32,5	61,6	72,2	94,1	104,7	148
Cento M50	50	79	–	33,8	53,4	–	87,2	–	148
Cento M70	70	109	–	34,3	53,4	–	87,7	–	204
Cento T80	81	120	126	35,1	52,2	54,5	87,3	89,6	231
Cento T100	104	142	149	36,9	50,5	52,8	87,4	89,7	282
Cento T120	125	177	185	36,4	51,7	54,0	88,1	90,4	343
Cento L135	137	163	173	41,2	49,1	52,2	90,3	93,4	332
Cento L155	155	186	198	41,1	49,3	52,6	90,4	93,7	377
Cento T160	164	221	232	37,8	50,9	53,4	88,7	91,2	434
Cento T180	184	232	244	39,2	49,5	52,0	88,7	91,2	469
Cento T200	200	253	266	39,2	49,5	52,1	88,7	91,3	510
Cento L200	200	239	261	41,6	49,7	52,8	91,3	94,4	480
Cento L230	235	282	301	41,5	49,7	53,0	91,2	94,5	567
Cento L330	331	392	415	42,0	49,7	52,5	91,7	94,5	789
Quanto D400	400	456	486	42,1	48,0	51,2	90,1	93,3	950
Cento L410	410	511	540	40,8	50,9	53,8	91,7	94,6	1004
Cento L450	455	550	582	41,5	50,2	53,0	91,7	94,5	1097
Cento L500	500	592	626	42,0	49,6	52,5	91,6	94,5	1191
Quanto D600	600	698	742	41,9	48,7	51,8	90,6	93,6	1433
Quanto D800	800	918	977	42,2	48,4	51,5	90,8	93,7	1895
Quanto D1200	1200	1295	1361	43,7	47,1	50,2	90,8	93,9	2748
Quanto D1600	1560	1709	1818	43,3	47,5	50,5	90,8	93,8	3600
Quanto D2000	2000	2155	2292	43,7	47,1	50,1	90,8	93,8	4578
Quanto D3000	3333	3577	3740	43,6	46,8	48,9	90,3	92,5	7650
Quanto D4000	4500	4679	4904	44,3	46,0	48,3	90,3	92,6	10160
Quanto M10000	10426	9825	–	47,0	44,3	–	91,3	–	22176

U vybraných jednotek nabízíme provedení s emisemi NO<sub>x</sub> pod 100 mg/m<sup>3</sup>.

\* při použití přidavného spalného výměníku

\*\* v programu Start

Příloha 2. Kapacity tanku (zdroje: Chart Ferox a.s.).

<b>Basic Dimensions of ETs produced by Chart Ferox</b>							
Approximate Volume	[m <sup>3</sup> ]	<b>89</b>	<b>98</b>	<b>109</b>			
Outer Diameter	[mm]	3000	3000	3000			
Approximate Height	[m]	19.68	21.54	23.34			
Approximate Weight MAWP 11 (9,5) bar	[kg]	32060	34820	37570			
Approximate Weight MAWP 17 bar	[kg]	38700	42100	45400			
Approximate Volume	[m <sup>3</sup> ]	<b>123</b>	<b>140</b>	<b>154</b>	<b>169</b>	<b>186</b>	<b>202</b>
Outer Diameter	[mm]	3200	3500	3500	3900	3900	3900
Approximate Height	[m]	23.70	22.10	24.00	22.10	24.10	26.10
Approximate Weight MAWP 8 (6) bar	[kg]	45800	53500	57100	60500	64700	69700
Approximate Weight MAWP 13 bar	[kg]	49200	57000	61100	66300	71300	76800
Approximate Volume	[m <sup>3</sup> ]	<b>235</b>	<b>257</b>	<b>279</b>	<b>301</b>	<b>335</b>	<b>363</b>
Outer Diameter	[mm]	4300	4300	4300	4300	4800	4800
Approximate Height	[m]	24.20	26.20	28.20	30.20	26.50	28.50
Approximate Weight MAWP 6 bar	[kg]	80500	86400	92500	98500	108800	115800
Approximate Weight MAWP 13 bar	[kg]	91400	98300	104000	117600	125400	133700
Approximate Volume	[m <sup>3</sup> ]	<b>392</b>	<b>420</b>	<b>450</b>	<b>500</b>	<b>683</b>	<b>1000</b>
Outer Diameter	[mm]	4800	4800	4800	5000	5600	5800
Approximate Height	[m]	30.50	32.50	34.50	34.80	36.80	48.80
Approximate Weight MAWP 6 bar	[kg]	122300	128500	128500	136100	163500	212000
Approximate Weight MAWP 13 bar	[kg]	141300	148900	148900			

Příloha 3. Schéma zkapalňovače (zdroje: Chart Ferox a.s.; vlastní obrázek).

