



Študija tehničnih možnosti za napajanje ladij z električno energijo s premičnimi agregati na UZP v Luki Koper - “Cold Ironing”

GAINN4MoS program: Instrument za povezovanje Evrope
»Sustainable LNG Operations for Ports and Shipping – Innovative Pilot Actions«
št. projekta: 2014-EU-TM-0698-M

Predstavitev: Koper, 5.4.2017

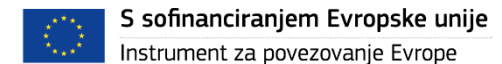


S sofinanciranjem Evropske unije
Instrument za povezovanje Evrope



Študija tehničnih možnosti za napajanje ladij z električno energijo s premičnimi agregati na UZP v Luki Koper - "Cold Ironing"

Pridruženi partnerji na študiji:

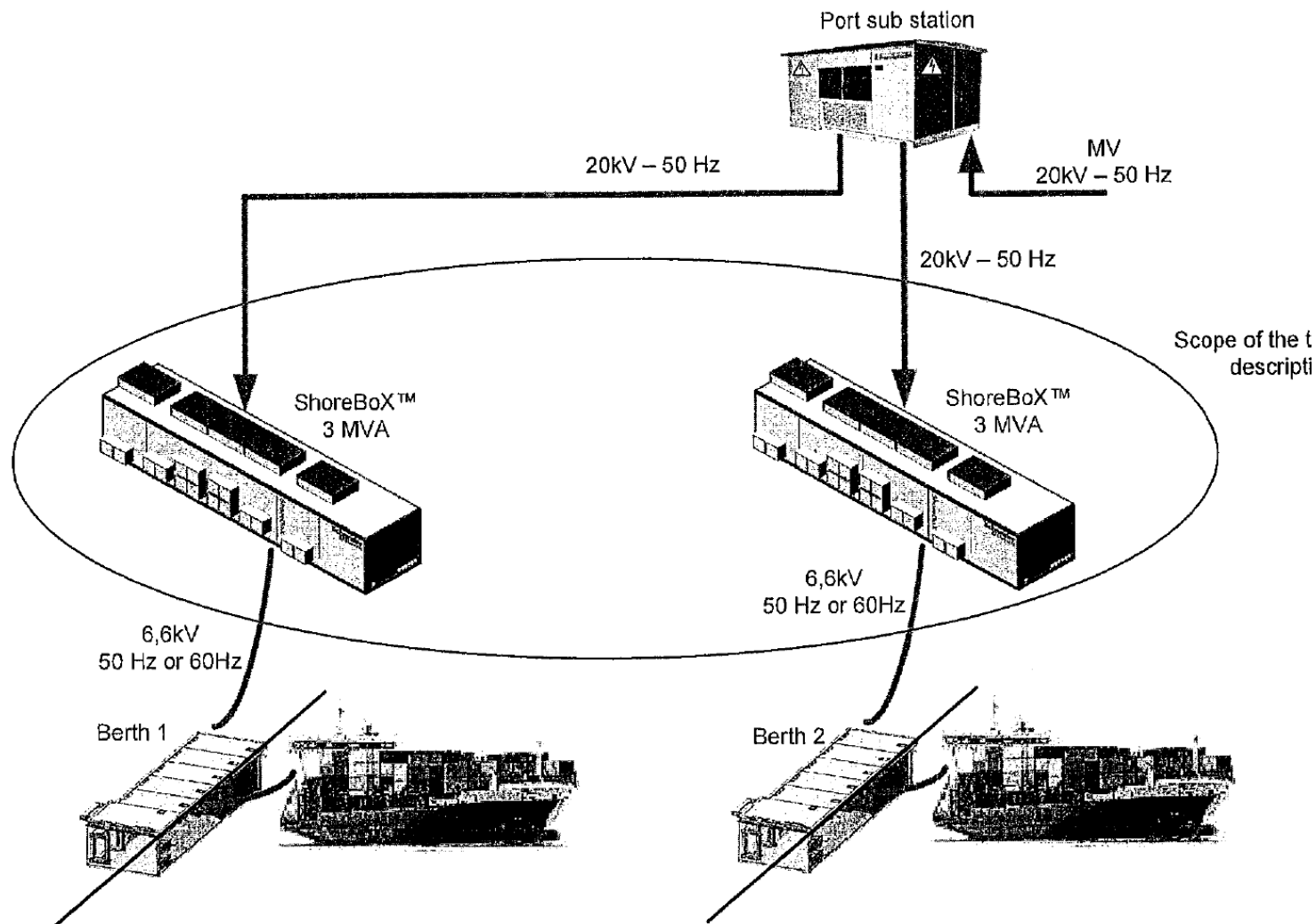
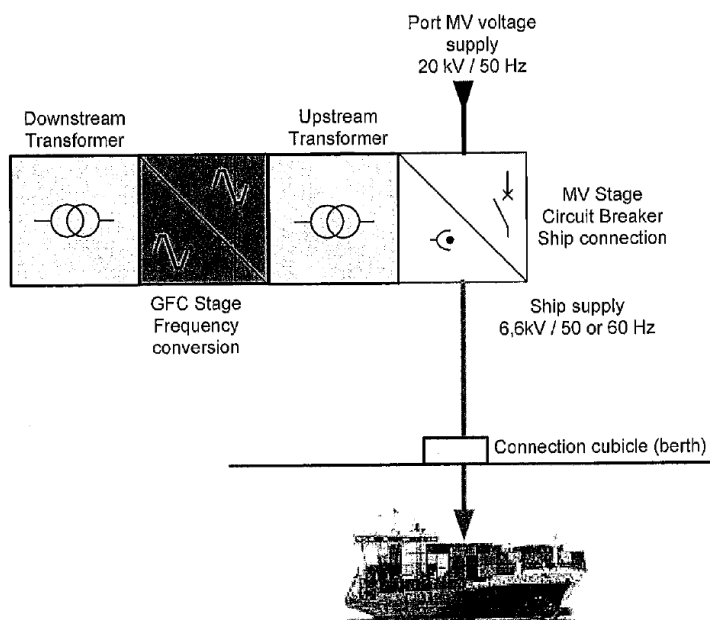


Električno napajanje z mobilnimi generatorji na LNG bi moralo zadostovati za naslednje primere:

1. Napajanje dveh največjih predvidenih kontejnerskih ladij v I. bazenu (New Post Panamax, 366 x 49 m, 12.500 TEU - kontejnerjev)
Največja potrebna električna moč za napajanje posamezne takšne ladje je 5 MW. **Skupna potrebna moč za I. bazen je** (dve New Post Panamx ladji) **10 MW**.
2. Napajanje potniških ladij v I. bazenu. **Največja moč** največjih ladij, ki prihajajo v pristanišče je **12,5 MW**. Ker takih moči predvidoma, ni možno ustrezno obvladovati z mobilnimi generatorji, se vseeno **predvidi napajanje manjših potniških ladij**, ki jih je **približno 50% od vseh potniških ladij**, ki pridejo v Koper.

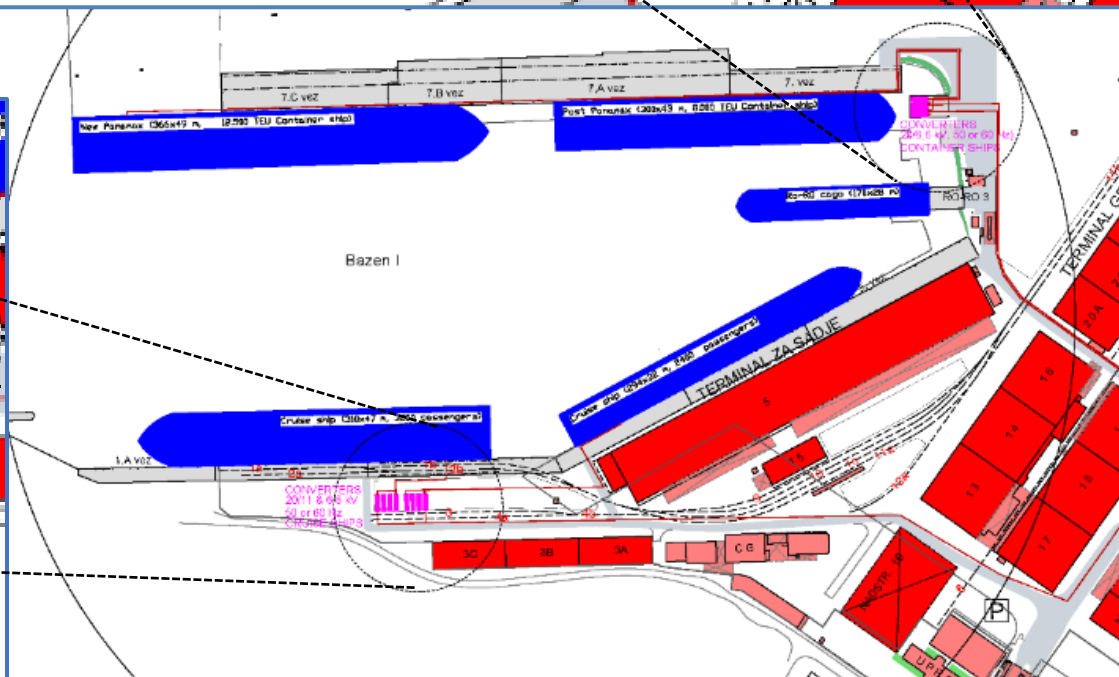
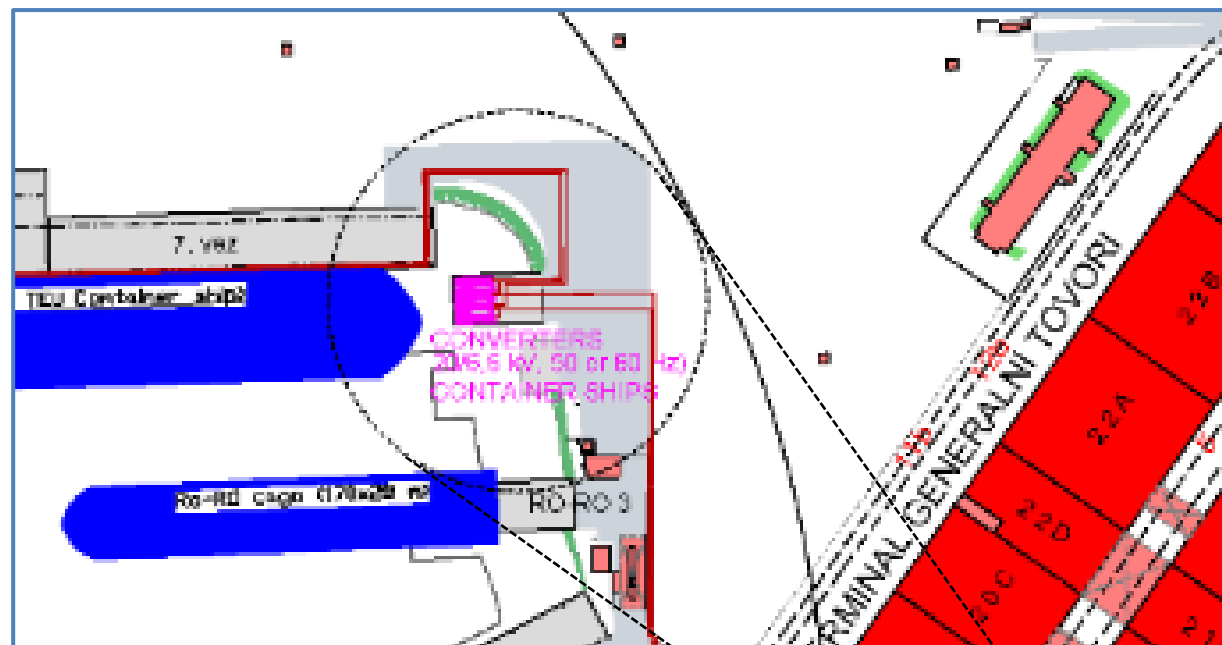
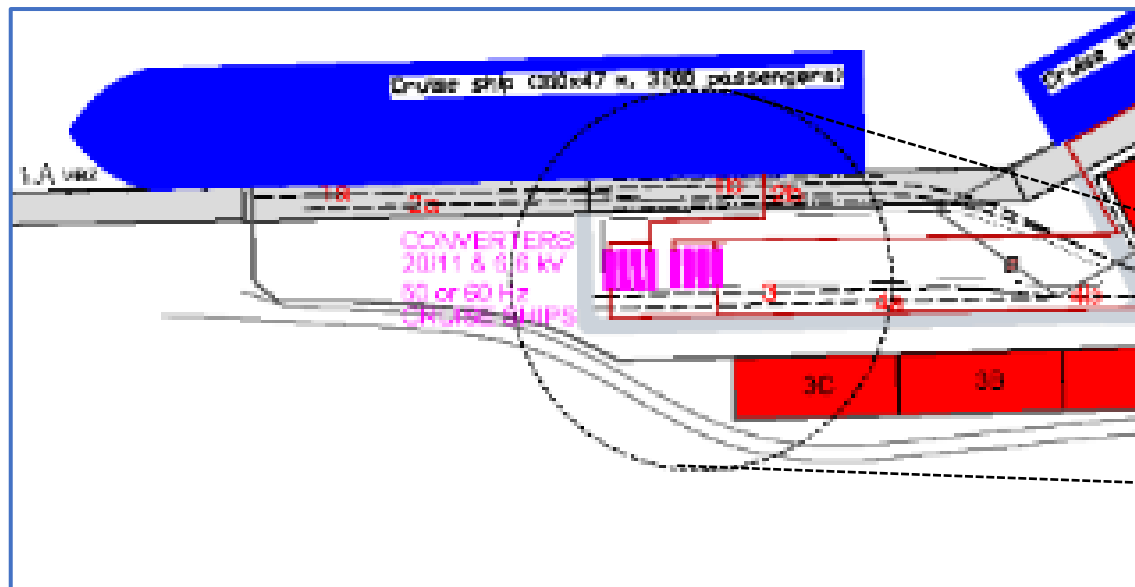
Električna transformatorska enota

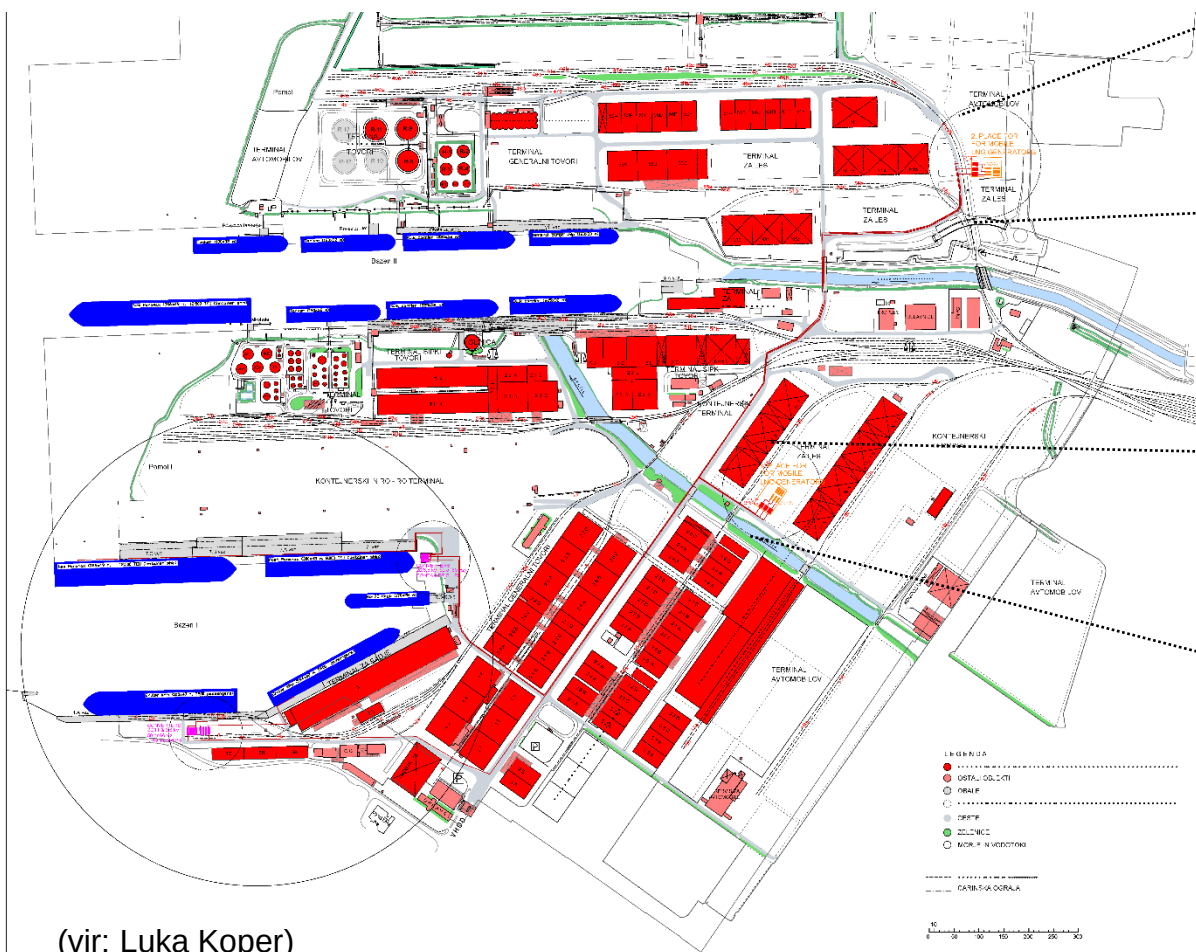
(vir: Luka Koper, Schneider Electric)



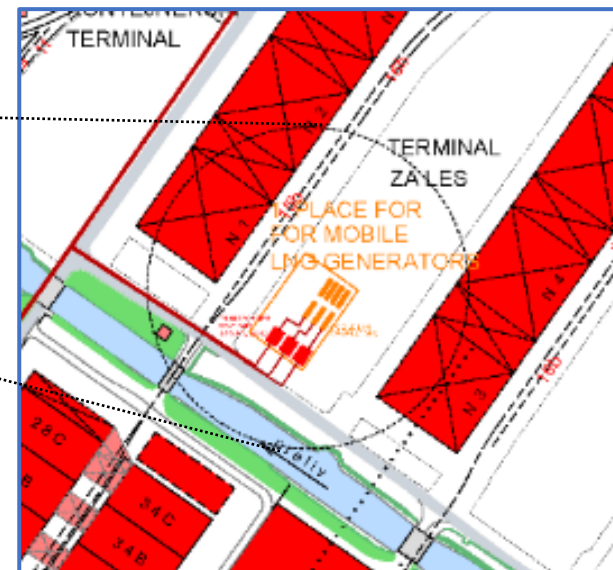
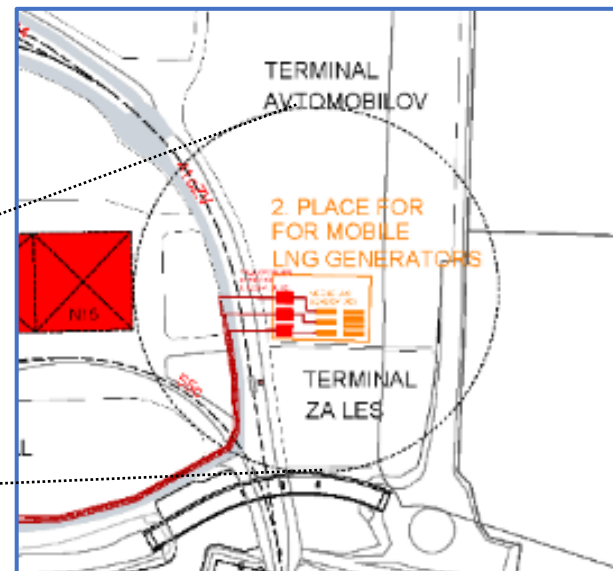
Splošni tloris pristanišča s prikazanimi elektro transformatorskimi postajami in pretvorniki

(vir: Luka Koper)





(vir: Luka Koper)





S sofinanciranjem Evropske unije
Instrument za povezovanje Evrope

Frekvence potniških ladij na privezu

(vir: Luka Koper, Gasfin)

Vessel type	Average power demand (MW)	Peak power demand (MW)	Peak power demand for 95 % of vessels (MW)
Container vessels (<140m)	0.17	1	0.8
Container vessels (> 140 m)	1.2	8	5
Container vessels (total)	0.8	8	4
RoRo- and vehicle vessels	1.5	2	1.8
Oil and product tankers	1.4	2.7	2.5
Cruise ships (< 200 m)	4.1	7.3	6.7
Cruise ships (> 200 m)	7.5	11	9.5
Cruise ships (> 300 m)	10	20	12.5

Partly based on: Shore side electricity, A feasibility study and a technical solution for an on-shore electrical infrastructure to supply vessels with electric power while in port, Chalmers University

(vir: Luka Koper, Chalmers University)

2014							2015				
Frequency of ships arrivals depending on the vessel size											
vessel type		ships	total supply time (h)	average supply time (h)	total energy delivered (MWh)	average supply power (MW)	ships	total supply time (h)	average supply time (h)	total energy delivered (MWh)	average supply power (MW)
1	4,1/7,3 MW	16	116,00	7,25	475,60	4,10	13	137,33	10,56	563,07	4,10
2	7,5/11 MW	27	240,50	8,91	1.803,75	7,50	37	317,00	8,57	2.377,50	7,50
3	10/20 MW	5	35,00	7,00	350,00	10,00	0	0,00		0,00	
Frequency of ships arrivals depending on the day in a week											
day code		ships	total supply time (h)	average supply time (h)	total energy delivered (MWh)	average supply power (MW)	ships	total supply time (h)	average supply time (h)	total energy delivered (MWh)	average supply power (MW)
1	Monday	4	23,00	5,75	135,10	5,87	2	20,00	10,00	109,20	5,46
2	Tuesday	4	25,00	6,25	164,20	6,57	5	33,00	6,60	247,50	7,50
3	Wednesday	9	70,00	7,78	378,80	5,41	5	42,00	8,40	233,40	5,56
4	Thursday	6	51,50	8,58	322,15	6,26	8	71,33	8,92	431,87	6,05
5	Friday	3	21,00	7,00	157,50	7,50	5	51,00	10,20	300,90	5,90
6	Saturday	6	41,00	6,83	292,00	7,12	12	111,00	9,25	818,90	7,38
7	Sunday	16	160,00	10,00	1.179,60	7,37	13	126,00	9,69	798,80	6,34
Frequency of ships arrivals depending on the month in a year											
month code		ships	total supply time (h)	average supply time (h)	total energy delivered (MWh)	average supply power (MW)	ships	total supply time (h)	average supply time (h)	total energy delivered (MWh)	average supply power (MW)
1	January	0	0,00		0,00		0	0,00		0,00	
2	February	0	0,00		0,00		0	0,00		0,00	
3	March	0	0,00		0,00		0	0,00		0,00	
4	April	2	13,00	6,50	97,50	7,50	2	10,00	5,00	61,40	6,14
5	May	8	71,50	8,94	550,85	7,70	10	95,00	9,50	630,90	6,64
6	June	9	76,00	8,44	464,60	6,11	6	57,00	9,50	362,90	6,37
7	July	7	62,00	8,86	390,70	6,30	8	73,00	9,13	465,90	6,38
8	August	3	28,00	9,33	189,60	6,77	8	72,83	9,10	465,22	6,39
9	September	10	78,00	7,80	558,80	7,16	9	85,50	9,50	496,75	5,81
10	Oktober	8	57,00	7,13	352,70	6,19	6	50,00	8,33	375,00	7,50
11	November	1	6,00	6,00	24,60	4,10	1	11,00	11,00	82,50	7,50
12	December	0	0,00		0,00		0	0,00		0,00	

Frekvence kontejnerskih ladij na privezu

Iz osnovnih vhodnih podatkov izhaja, da sta v kontejnerskem terminalu bazena 1 lahko:

- dve kontejnerski ladji hkrati, vsaka velikosti New Post Panamax in z zahtevano oskrbovalno električno močjo 5 MW.
- skupno je treba dodeliti za kontejnerske ladje 10 MW.
- pri tem, v prvem bazenu ni predvideno, da bi bile ladje v pristanišču konstantno po 24 ur.
- vezi na kontejnerskem terminalu v prvem bazenu naj bi bili z New Post Panamax ladjami zasedeni 66% časa.

Generiranje električne energije

Tehnična zasnova

Pri obravnavi tehničnih rešitev generiranja elektrike s pomočjo generatorjev na utekočinjeni zemeljski plin (UZP) je zaradi **popolnoma različnih tehničnih karakteristik in različnega pristopa** k obravnavi obseg **razdeljen** na:

- Proizvodnja elektrike
- Skladišče za UZP.

Pri tehnični zasnovi nastopajo sledeče **omejitve**:

- izredno omejene operativne površine
- velika gostota infrastrukture in luškega prometa
- bližina zgradb ali ladij, kjer so prisotni ljudje
- omejitve glede emisij hrupa



Izboljšanje energetske učinkovitosti



S sofinanciranjem Evropske unije
Instrument za povezovanje Evrope

V primeru fiksne postaje za proizvodnjo električne energije je **z vidika energetske učinkovitosti smiselno razmišljati tudi o kogeneraciji ali trigeneraciji.**

Glede na način delovnih procesov v samem pristanišču in s tem povezano infrastrukturo je **relativno težko najti potrebne odjemalce toplote ali morda celo hladu.** Če ne drugega, slednje pomeni dodatno mrežno infrastrukturo na območju pristanišča, kar je že samo po sebi težko izvesti, ne da izpostavljammo še dodatna finančna vlaganja, ki so tudi potrebna.

Ne izključujemo možnosti, da se tudi iz ekonomskega vidika lahko izkaže, da so za rešitev »Cold Ironing« problema v Luki Koper **najprimernejši enostavni električni generatorji brez nadgradnje za energetske učinkovitost.**

V času izdelave študije **nismo bili sposobni identificirati** ustreznih morebitnih porabnikov toplote ali hladu na območju pristanišča.

Identifikacija celotne energijske kapacitete – potniški terminal

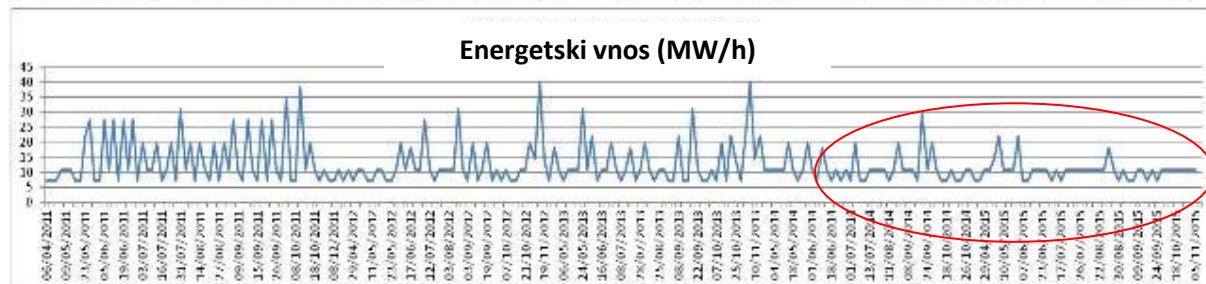
Obratovalne ure za dobavo elektrike



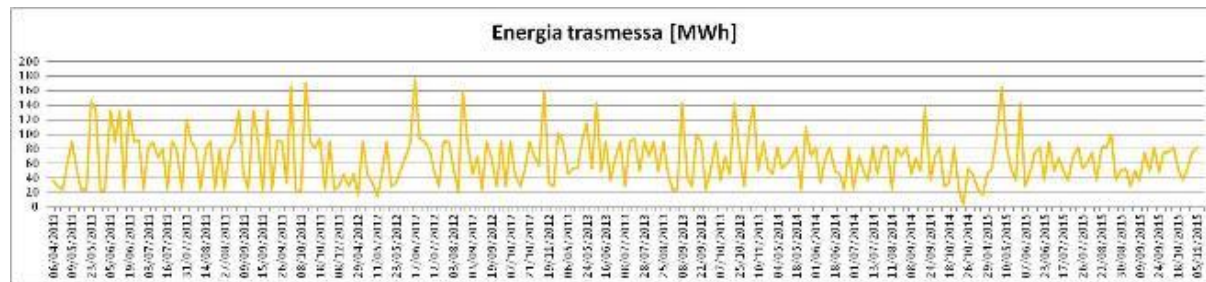
Povprečna dovedena moč (MW)



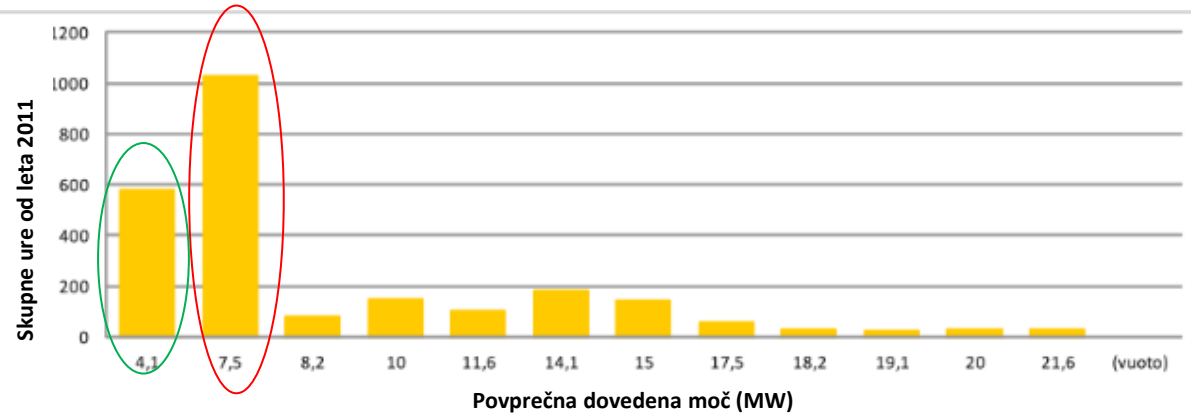
Energetski vnos (MW/h)



Energia trasmessa [MWh]



(vir: CGT)





S sofinanciranjem Evropske unije
Instrument za povezovanje Evrope

Identifikacija celotne energijske kapacitete – potniški terminal

Od leta 2011 do leta 2015 najbolj potrebne povprečne urne moči:

- 4,1 [MW] za 600 ur – enako 24 % od vseh skupnih ur od 2011
- 7,5 [MW] za 1025 ur – enako 43 % od vseh skupnih ur od 2011

Od leta 2011 do leta 2015 najbolj potrebne konične moči:

- 7,3 [MW] za 75 krat – enako 31 % vsem zahtevanim konicam
- 11 [MW] za 109 krat – enako 45 % vsem zahtevanim konicam

Identifikacija celotne energijske kapacitete – potniški terminal

Moč električne energije, ki jo porabijo ladje v času priveza je med **7 MW_e min.** in nazivno **14 MW_e max.** => **povprečno 12 MW_e** (v bodoče se bo potreba po moči še povečala).

Za nazivno moč 14 MW_e uporaba tehnologije **plinskih turbin ni rentabilna** ker:

- je njihov zagon počasen (primerne so za pasovno obratovanje, manj primerne pa za večkratni dnevni zagon/zaustavitev)
- obratujejo z nižjim električnim izkoristkom od plinskih motorjev, že tako slab izkoristek pa z nižanjem moči od 100 % (polne) moči do 50 % (delne) moči še bolj pada.

Obravnava se **zgolj uporaba tehnologije plinskih motor generatorskih enot**, ker:

- so rentabilne, njihov zagon je hiter (primerne so tako za pasovno obratovanje, kot tudi za večkratni dnevni zagon/zaustavitev)
- obratujejo z visokim električnim izkoristkom (tudi do 45 %), z nižanjem moči od 100 % (polne) moči do 50 % (delne) moči pa se njihov izkoristek praktično ne spreminja.

Možnosti tehničnih rešitev

V skladu z:

- nazivno močjo 14 MW_e porabe električne energije,
- logistiko in lokacijo postavitve rezervoarjev UZP in transformatorskih postaj za otočno obratovanje,
- zahtevo, da se moč proizvodnje sproti prilagaja porabnikom (ladje v privezu)

je električno energijo mogoče proizvesti v dveh, med seboj sistemsko, logistično in izvedbeno različnih variantah umestitve, znotraj funkcionalnega zemljišča Luke Koper.

Možnosti tehničnih rešitev

Proizvodnja električne energije je možna :

- v **mobilnih** kontejnerskih plinskih motor generatorskih enotah
- v plinskih motor generatorskih enotah, umeščenih v enem ali dveh **fiksno izgrajenih objektih**

Predlog 1 – Caterpillar fiksni objekt (kontejner)

Generatorska enota (ang.: Power Unit - PU) sestavljena iz **5-ih modulov** tip Caterpillar G3520H **po 2.5 MW_e** vsaka. Enota bo:

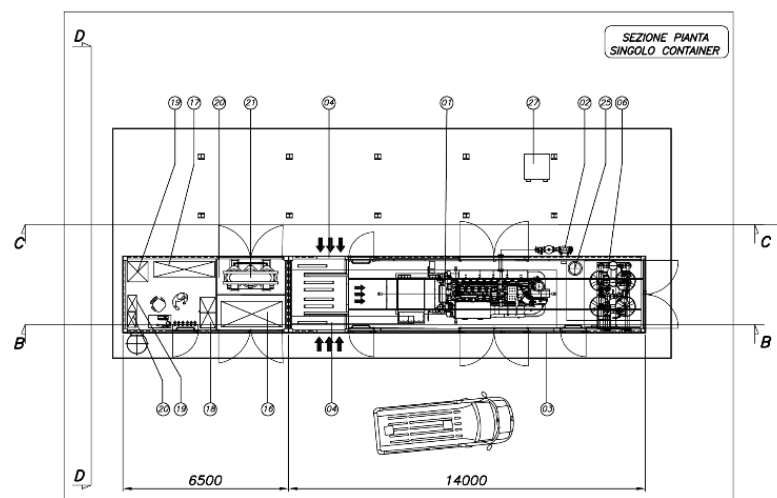
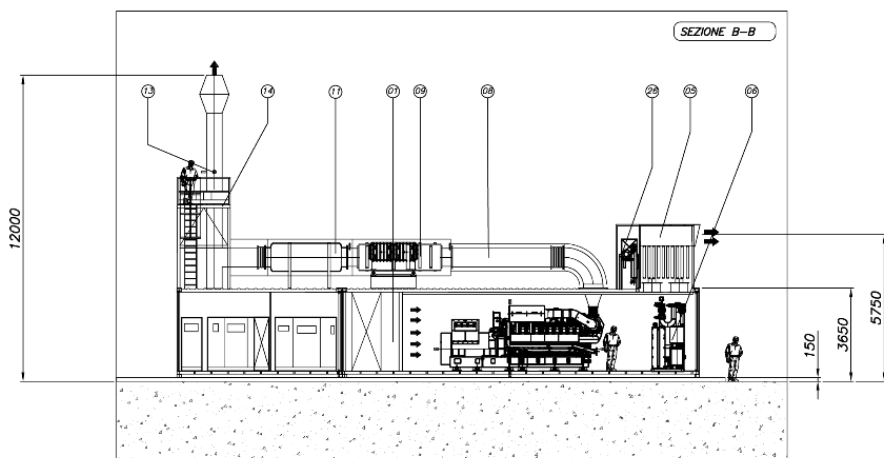
- zagotavljala 80 % energetskih zahtev
- "pokrivala" 76 % konične moči

Pozitivni vidiki:

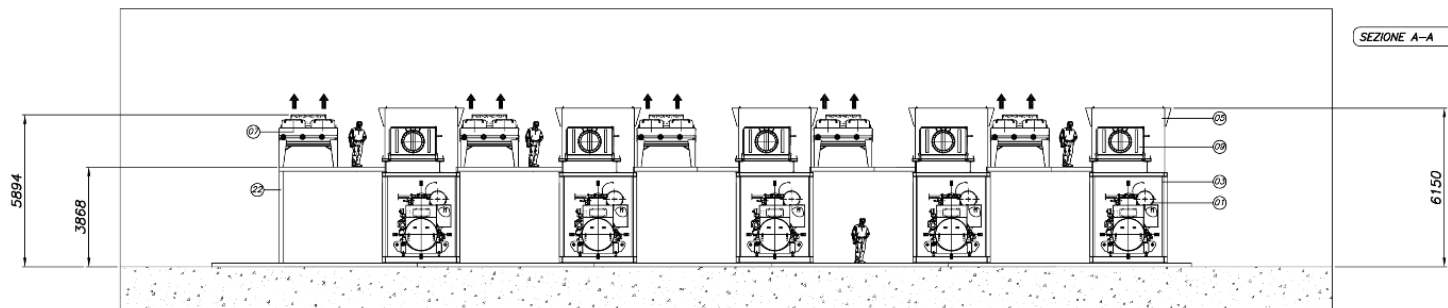
- enostavnost inženiringa, hitra namestitve, ponovljivost enakih modulov,
- enostavnost posluževanja, motnje v primeru prihodnjega razvoja pristanišča so reducirane na minimum,
- ob upoštevanju povprečne napajalne moči 7,5 MW_e, ta modularna rešitev omogoča, da se ohranja 3 motorje, ki delujejo pri 100 % obremenitvi; ustreza maksimalni energetski učinkovitosti.

Predlog 1 – Caterpillar fiksni objekt (kontejner)

Caterpillar G3520H
Kontejnerizirana rešitev

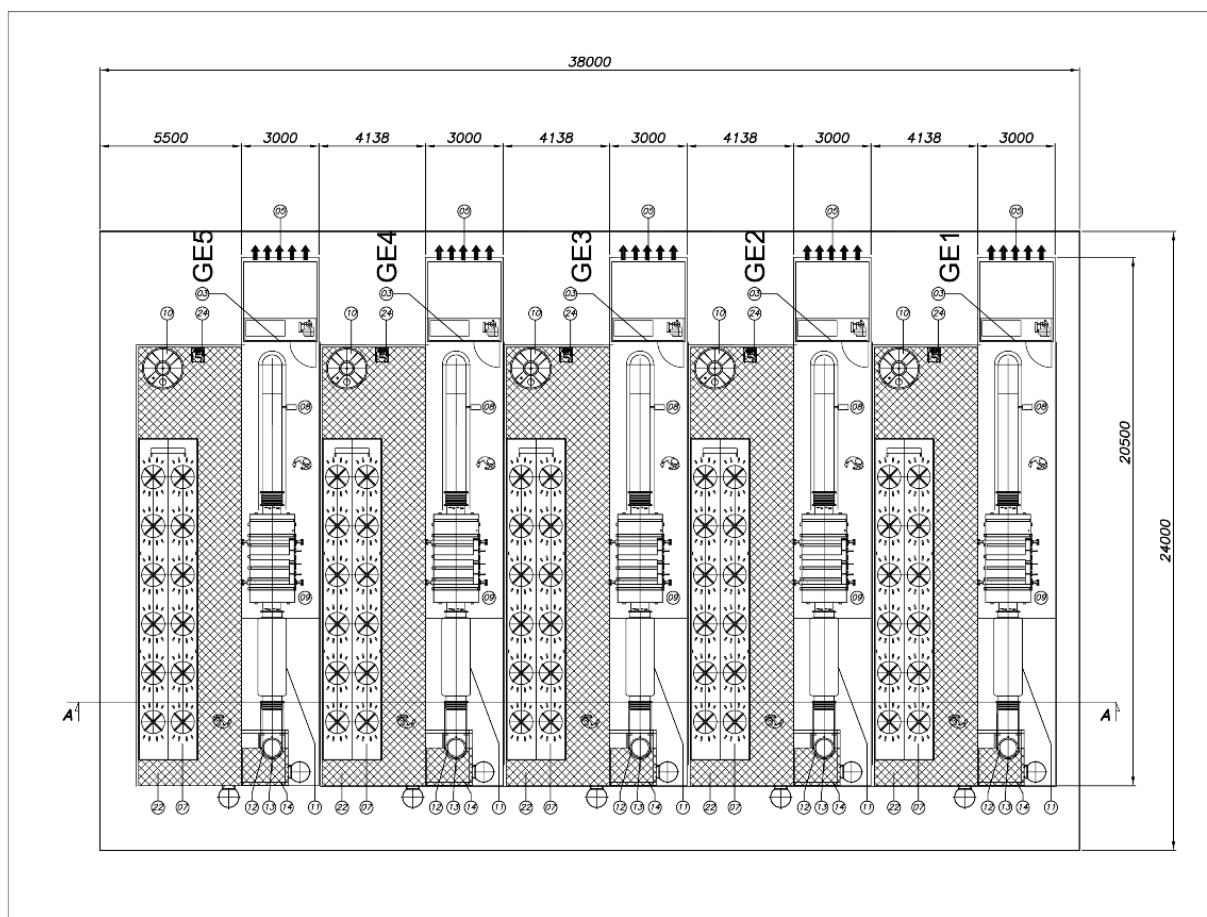


(vir: CGT)



Caterpillar 5 x G3520H Kontejnerizirana rešitev

Predlog 1 – Caterpillar fiksni objekt (kontejner)



(vir: CGT)



Caterpillar – Referenčni objekti



Romano D'ezzelino (Vicenza) - Italy



(vir: CGT)



Caterpillar – Referenčni objekti



Trezzano Rosa (Bergamo) - Italy



(vir: CGT)

San Felice sul Panaro (Modena) - Italy

Predlog 2 – GE Jenbacher mobilni objekti (kontejner)

GE Jenbacher kontejnerske generatorske enote, ki se s postavitvijo na prikolico kamiona, se lahko izvedejo v mobilni obliki:

- 0,330 MW_e agregat: GE Jenbacher JMS 208 GS-N.L
- 1,413 MW_e agregat: GE Jenbacher JMS 420 GS-N.L

Ob izbiri najenostavnejšega primera, bi potrebam po 14 MW_e zagotovili z umestitvijo **9 enakih enot moči 1,413 MW_e**, s skupno proizvodno močjo **12,717 MW_e**.

- Kamion ustrezne moči z nizko prikolico dolžine 12,5 m, opremljeno s hidravlično iztegljivimi nogami za statično postavitve na armirano-betonske temelje na pomolu,
- ISO 40" kontejner širine 3 m, v kontejner umeščen motor generator,
- zunanje stene izdelane iz težko gorljive (min. 90 min odpornost) in zvočno izolativne sendvič konstrukcije,
- zračni hladilniki so na strehi kontejnerja,
- sistem za dovod zemeljskega plina v motor vključno s plinskimi progami,
- sistem intenzivnega prezračevanja prostora kontejnerja vključno z glušniki,
- sistem **odvoda produktov zgorevanja** vključno z glušniki in katalizatorji ter vertikalnim odvodnikom (**6 do 8 m iznad nivoja tal pomola**).

Celoten mobilni sestav

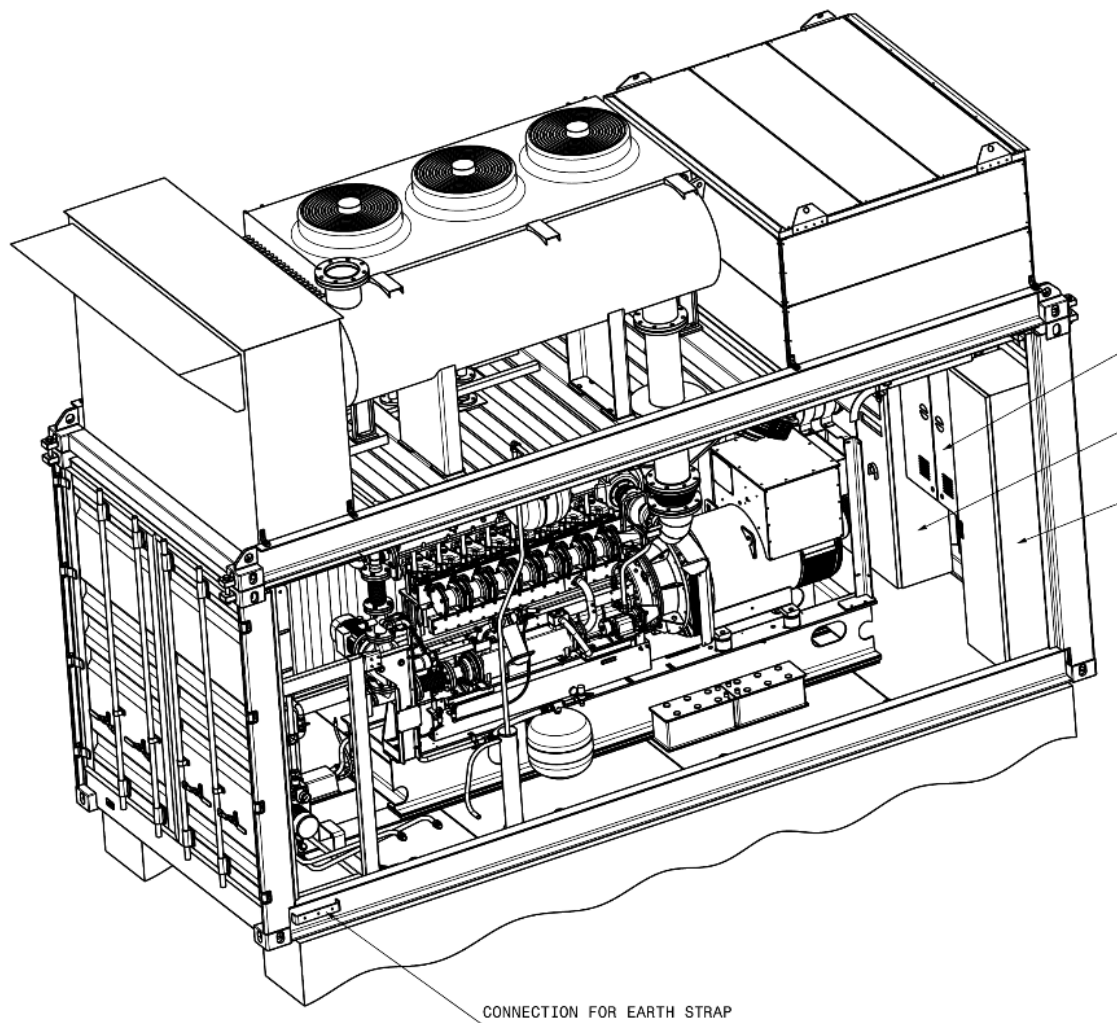
- Mobilno kontejnersko motor generatorsko enoto se dostavi in namesti na predvideno mesto na pomolu in se, preko **fleksibilnih priključkov** priključi na **zemeljski plin** in **SN/NN priključek** transformatorske postaje.
- Rezervoar UZP, uparjalniki in **FLEKSIBINI** priključek za dovod plina v plinsko progo motor generatorske enote v kontejnerju.
- Transformatorska postaja (Schneider Electric), opremljena s **FLEKSIBILNIM** SN/NN (400 V ali 10,5 kV, 50 Hz) kabelskim priključkom.
- Motor se zažene (ročni vklop), po sinhronizaciji z mrežo odjemalcev pa avtomatika zagotavlja hitro in odzivno prilagajanje obratovanja motor generatorja moči odjema s strani porabnikov vezanih na transformatorsko postajo v otočnem obratovanju.
- Motor se v primeru detekcije plina ali dima v kontejnerju samodejno varnostno zaustavi.

gasfin



S sofinanciranjem Evropske unije
Instrument za povezovanje Evrope

Predlog 2 – GE Jenbacher mobilni objekti (kontejner)

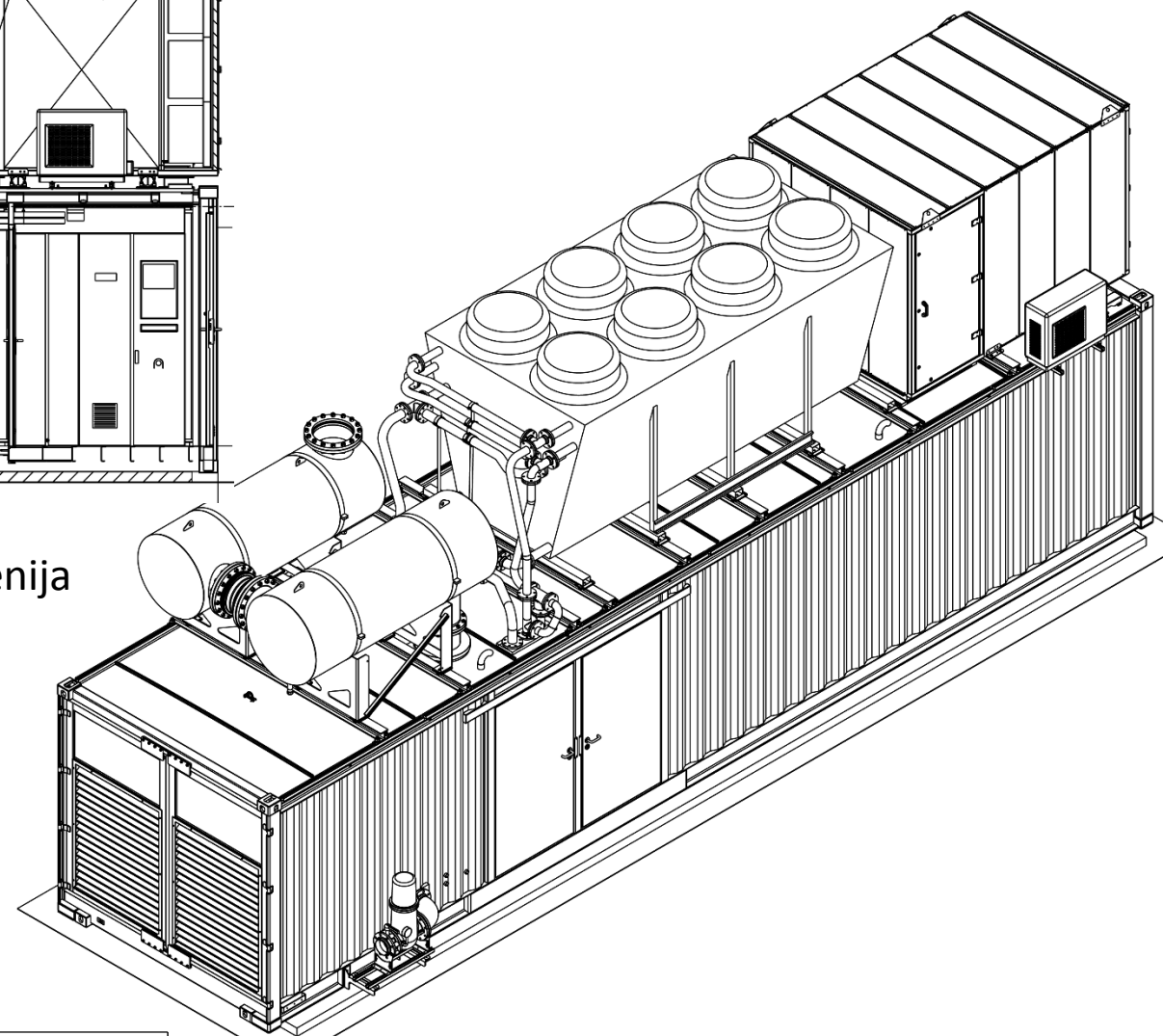
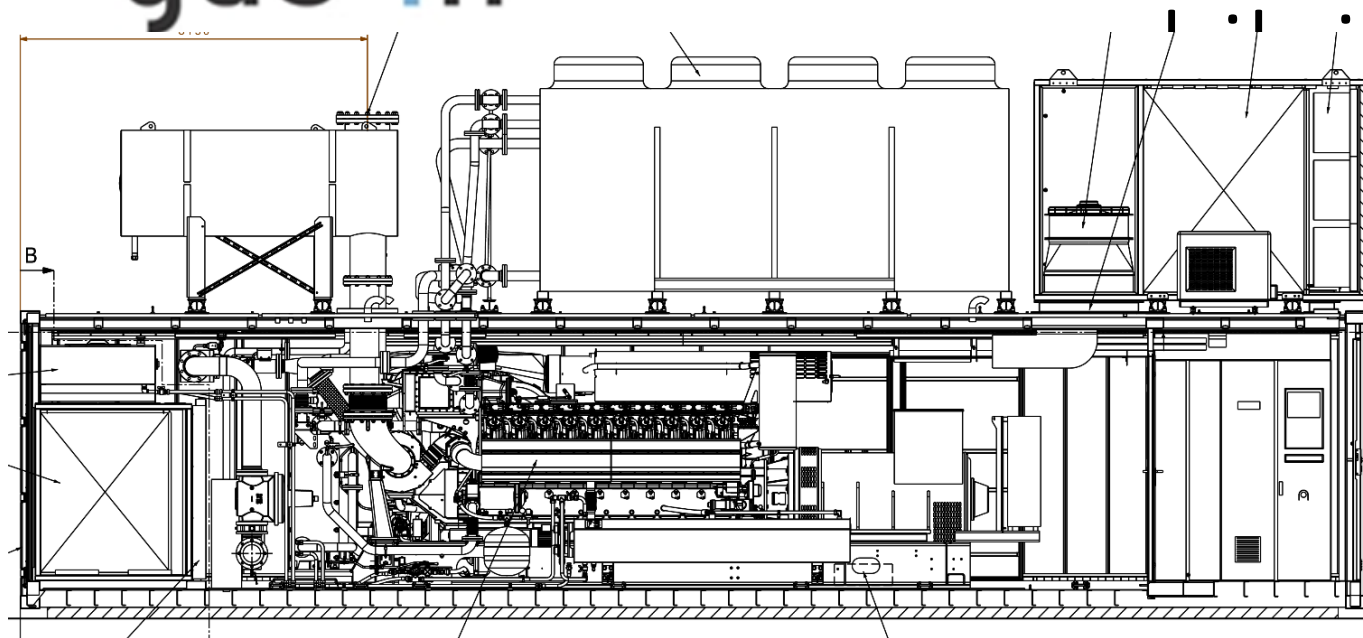


Velenje - Slovenija



(vir: TES)

Predlog 2 – GE Jenbacher objekti (kontejner)



Bukovžlak - Slovenija

(vir: CGT)



S sofinanciranjem Evropske unije
Instrument za povezovanje Evrope

Predlog 3 – GE Jenbacher fiksni objekt

GE Jenbacher generatorske enote, umeščene v izgrajenih energetske objekti na dveh lokacijah:

- 2,000 MW_e agregat: GE Jenbacher JMS 612 GS-N.L

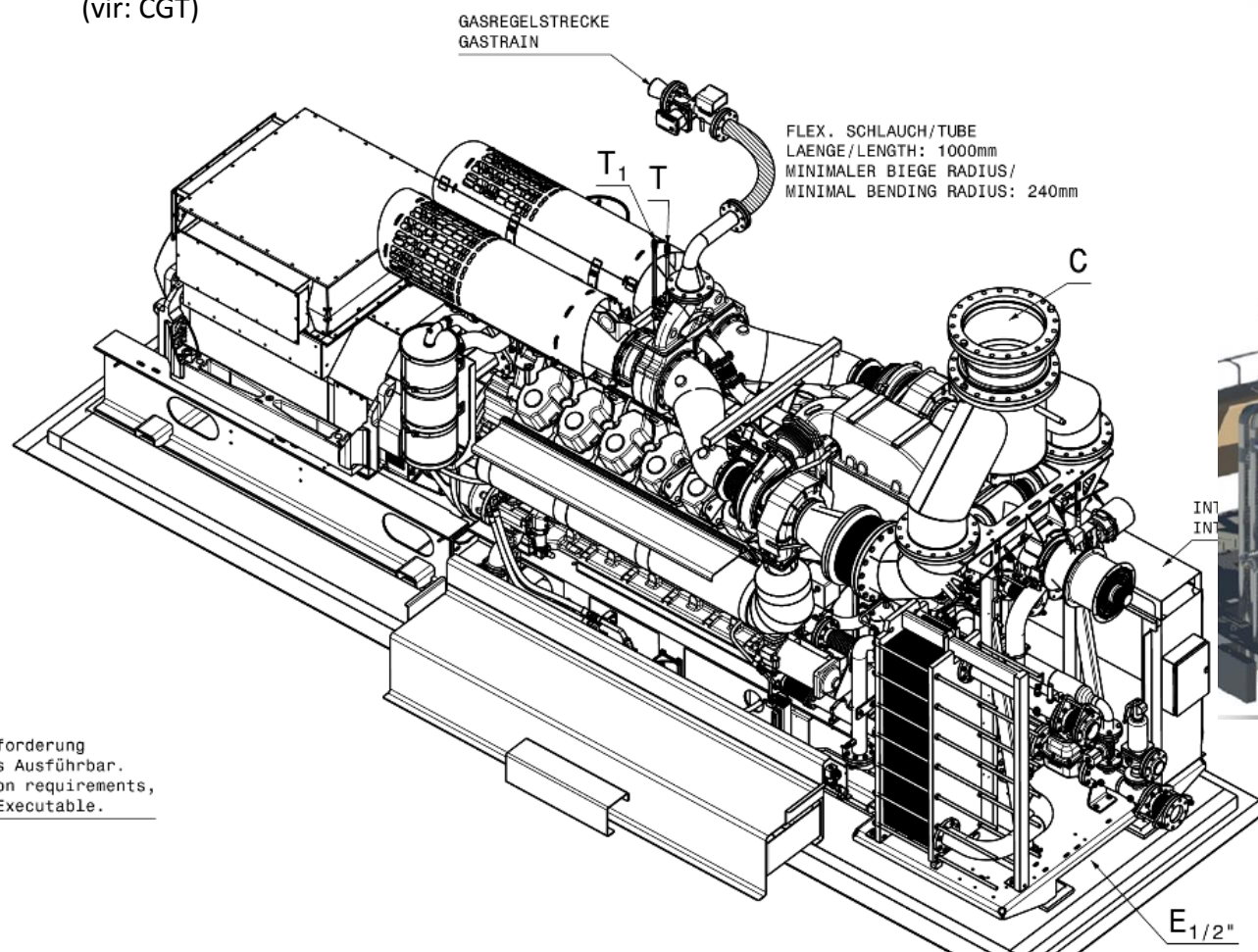
Potrebe po 14 MW_e zagotovimo z izgradnjo **dveh enakih**, dislociranih energetske objekti, vsakega s **proizvodno močjo 6 MW_e**, oziroma s **skupno proizvodno močjo 12 MW_e**.

Celoten fiksni sestav

- Na logistično predvidenih lokacijah sta umeščena dva energetska objekta, namenjena izključno umestitvi plinskih motor generatorskih enot.
- Rezervoar UZP, uparjalnik, s **FIKSNIM** plinovodom za dovod plina v plinske proge.
- Transformatorska postaja (Schneider Electric), s **FIKSNIM** SN/NN (400 V ali 10,5 kV, 50 Hz) kabelskim priključkom.
- Motorje se zažene (ročni vklop), po sinhronizaciji z mrežo odjemalcev pa avtomatika zagotavlja hitro in odzivno prilagajanje obratovanja motor generatorjev moči odjema s strani porabnikov vezanih na transformatorsko postajo v otočnem obratovanju,
- Motorji se v primeru detekcije plina ali dima v energetske objektu samodejno varnostno zaustavijo.

Predlog 3 – GE Jenbacher fiksni objekt

(vir: CGT)



Predlog 3 – GE Jenbacher fiksni objekt

(vir: CGT)



Primerjava med mobilno in fiksno rešitvijo

- Različna zasedba operativnih površin v pristanišču.
- Nivoji hrupa objekta v obratovanju:
 - Mobilna varianta (obratovanje ene mobilne enote):
65 dBA na razdalji 10 m od kontejnerja
 - Fiksna varianta (obratovanje vseh treh enot pri polni moči):
55 dBA na razdalji 10 m od objekta, kar na relativno oddaljeni meji prehoda iz cone hrupa Luke Koper na **sosednjo (bivalno) cono** hrupa, predstavlja **hrup 45 dBA**, to pa je **zadovoljivo tudi za bivalno cono v nočnem času**.
- Fiksna objekta sta stalno priključena na zemeljski plin in SN/NN priključek transformatorske postaje, kar je iz vidika požarne in EX varnosti bolj obvladljivo kot mobilne enote.

Oskrbovalna postaja za UZP

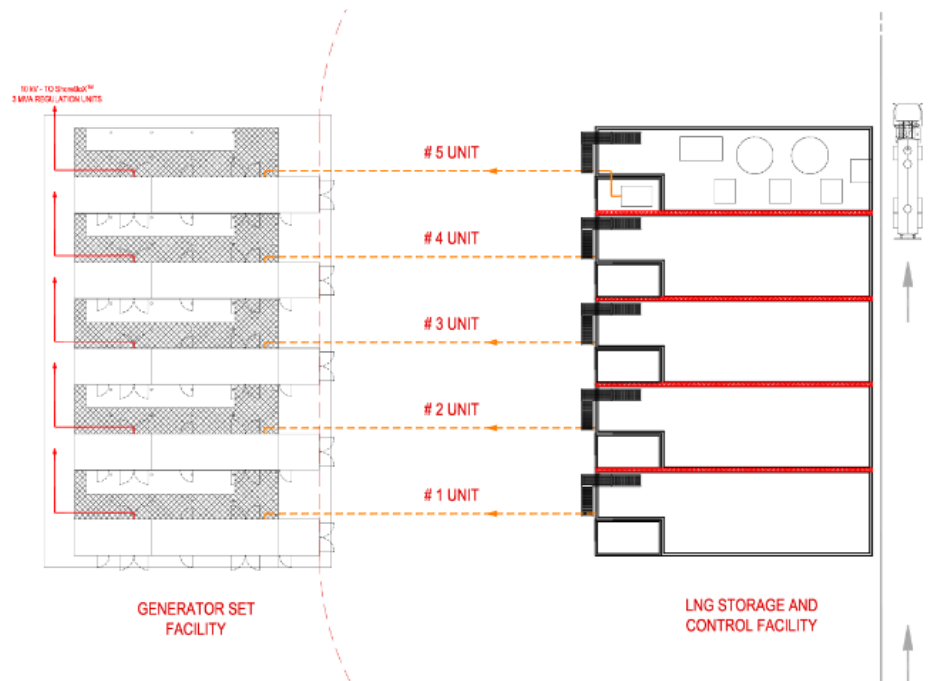
- Za prikaz možnih raznolikosti postaj za UZP, smo naredili **dve rešitvi**, ki temeljita na različnih velikosti rezervoarja za UZP in spremljajočo opremo (rešitvi oziroma možnosti "A" in "B")
- Prva (ali "A") rešitev odraža **modularni pristop** natančno tako kot elektro-generatorski objekt.
- Druga (ali "B") rešitev odraža pristop k **enovitemu objektu za UZP**.
- Ta predlog oskrbovalne postaje za UZP predvideva **niz petih generatorjev**, vsak z nazivno močjo **2.500 kVA**, kar rezultira v **skupno nazivno moč 12.500 kVA**, dobavljeno v SN (nazivna napetost je 10 kV) lokalno omrežje.

gasfin



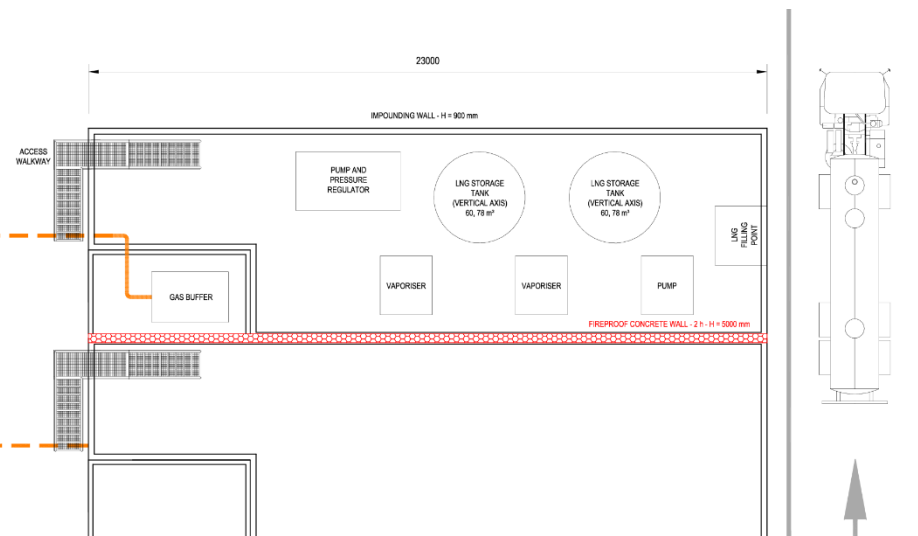
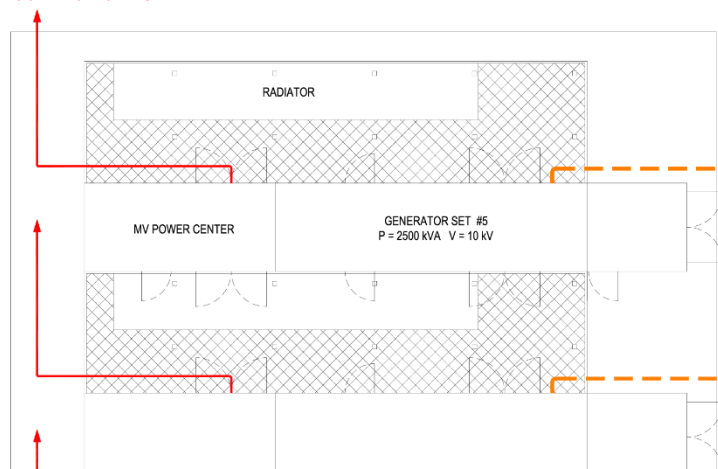
S sofinanciranjem Evropske unije
Instrument za povezovanje Evrope

(vir: Gasfin, Liquimet)



Postaja za UZP Opcija A

10 kV - TO ShoreBoX™
3 MVA REGULATION UNITS

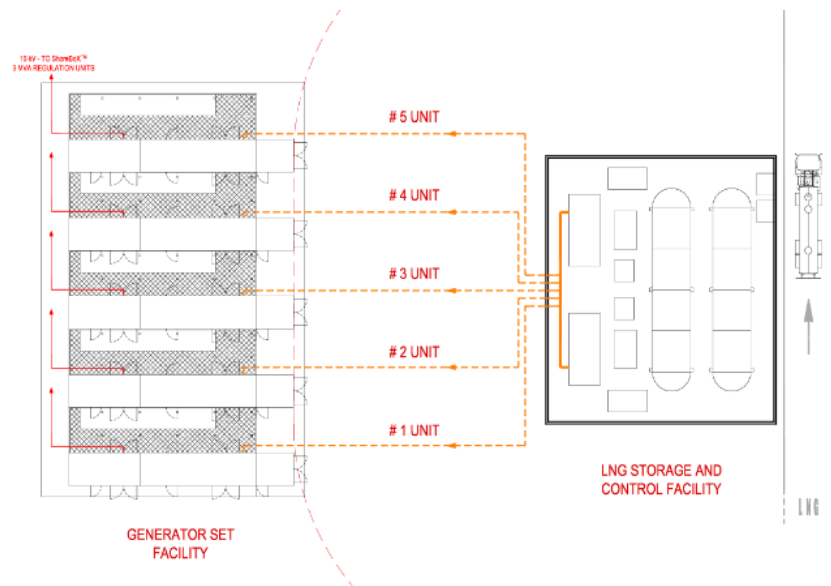


gasfin

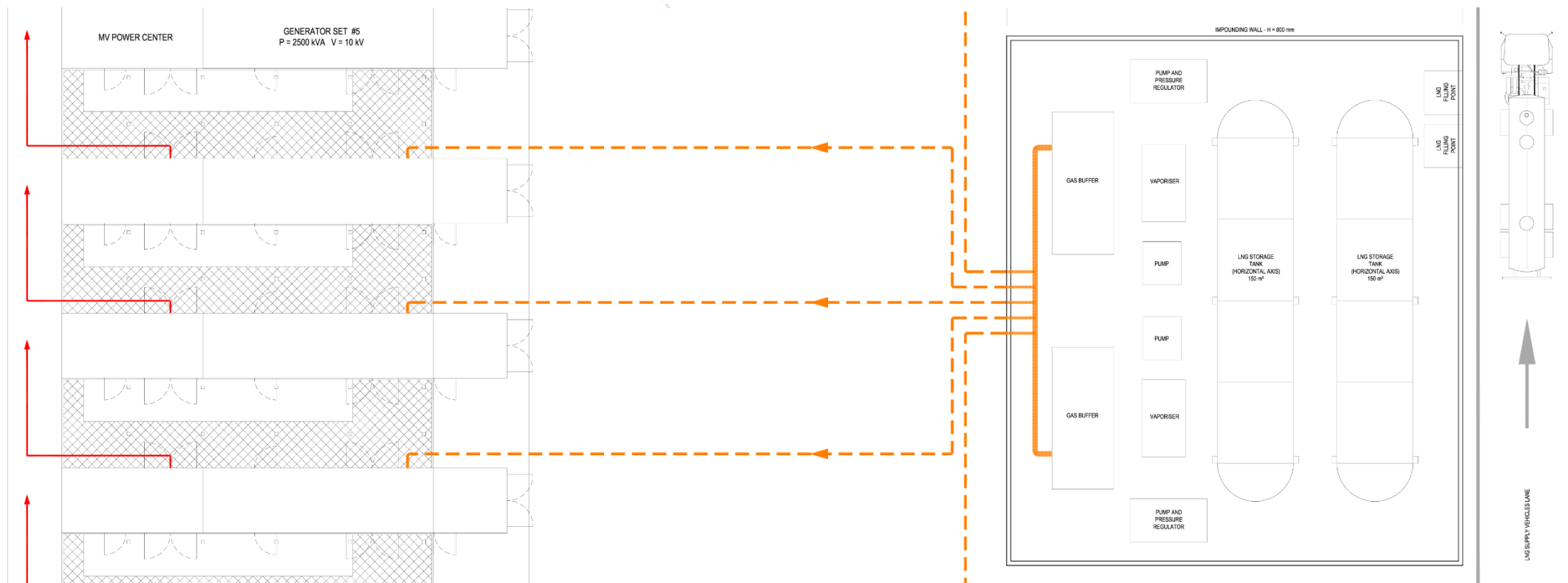


S sofinanciranjem Evropske unije
Instrument za povezovanje Evrope

(vir: Gasfin, Liquimet)

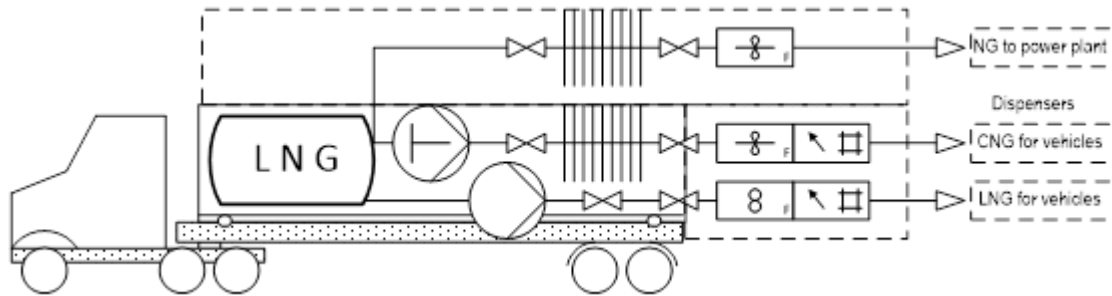


Postaja za UZP Opcija B



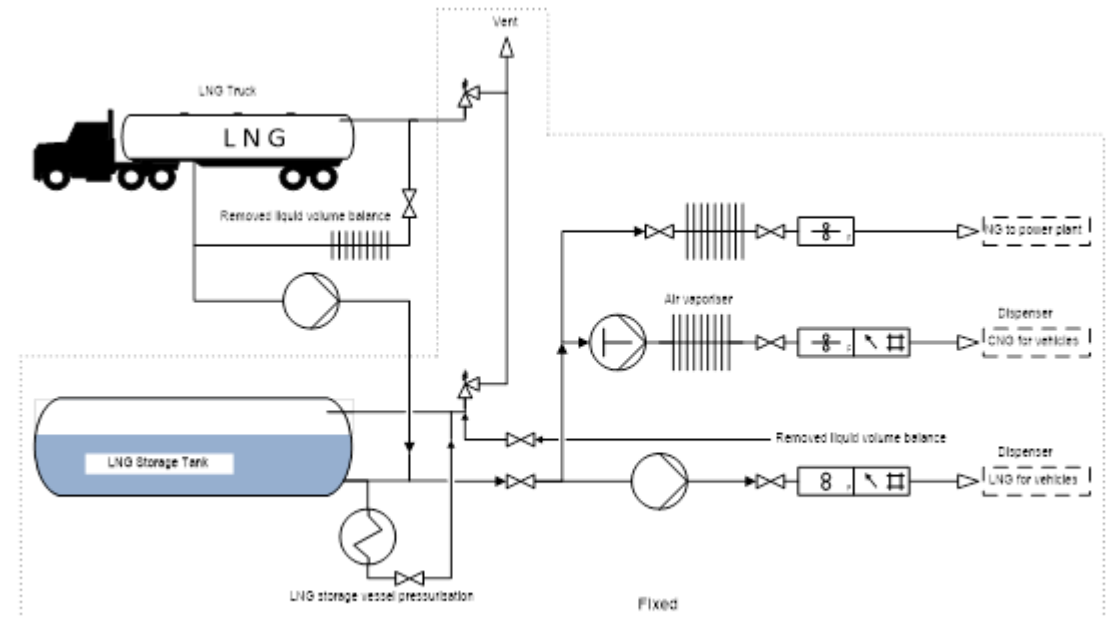
Primerjave med možnostmi

Popolnoma mobilno U-SZP vozilo za polnjenje goriva (v okvirju / priklopnik)

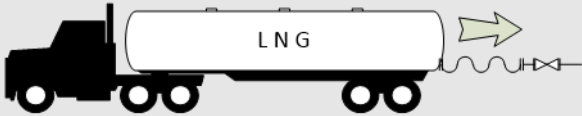
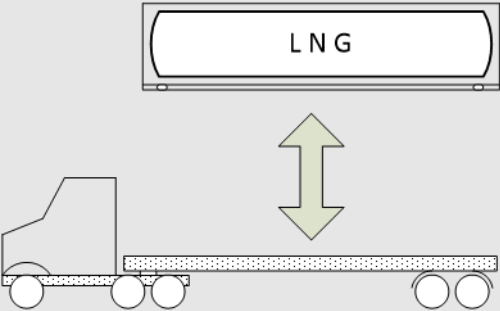
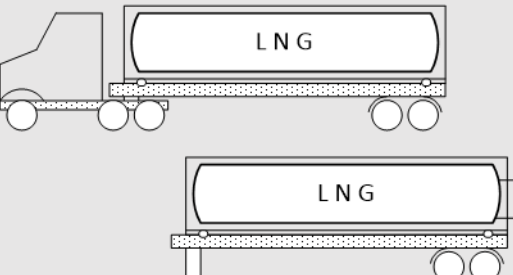


(vir: Gasfin)

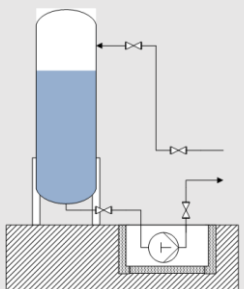
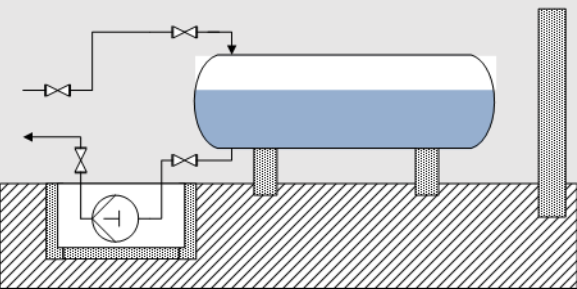
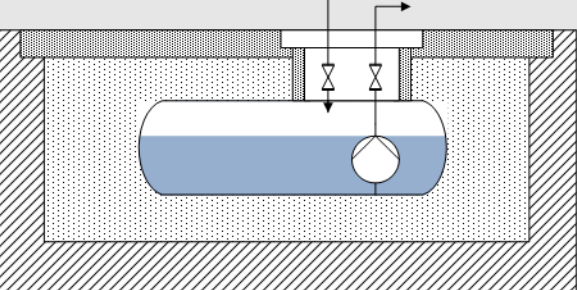
Fiksna U-SZP polnilna postaja



Opcije oskrbe postaje z UZP

Opis	Prednosti in slabosti
	Pozitivne lastnosti: - najbolj pogosta metoda polnjenja - dobavljene količine UZP so natančno merjene - ni odvisnosti glede dostave opreme (finančne ali tehnične) Negativne lastnosti: - ponovno polnjenje je kritična tehnološka operacija in potrebni so nekateri dodatni ukrepi za normalno delovanje
	Pozitivne lastnosti: - ni operacije pretakanja goriva Negativne lastnosti: - tveganje, da kontejner med ravnanjem pade - potrebna je oprema za ravnanje s kontejnerji - priključna mesta za dva (ali več) kontejnerja ali upravljanje z »ostanki« UZP - visok CAPEX - možna odvisnost od opreme za dostavo (finančna ali tehnična)
	Pozitivne lastnosti: - ni operacije pretakanja goriva - enostavna in varna ponovna priključitev Negativne lastnosti: - priključni mesti za dve (ali tudi več) prikolici ali upravljanje z »ostanki« UZP - zelo visok CAPEX - možna odvisnost od opreme za dostavo (finančna ali tehnična)

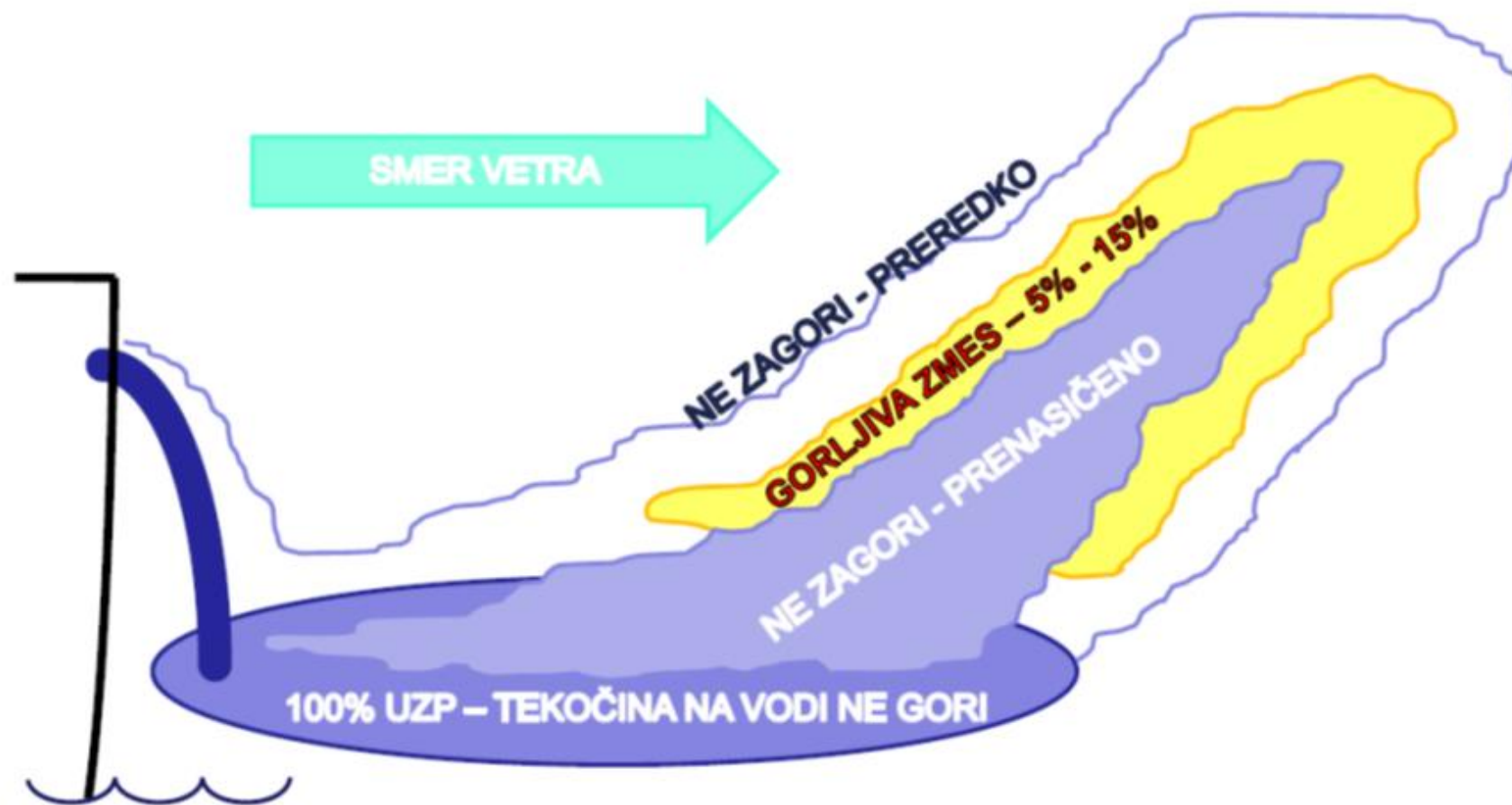
Namestitvene opcije rezervoarja za UZP

Opis	Prednosti in slabosti
	Pozitivne lastnosti: - najpogostejši tip namestitve - zavzame majhno površino - poceni namestitev Negativne lastnosti: - zelo viden (visok) objekt napolnjen z »nevarno snovjo« – dojemanje varnosti je »nizko« - izpostavljen vsem vremenskim vplivom (soncu)
	Pozitivne lastnosti: - pogost tip namestitve - poceni namestitev - ni dobro viden objekt – dojemanje varnosti je »sprejemljivo« Negativne lastnosti: - izpostavljen vsem vremenskim vplivom (sonce) - zavzame večjo površino
	Pozitivne lastnosti: - ni viden objekt – dojemanje varnosti je »visoka« - ni izpostavljen vremenskim vplivom (soncu) Negativne lastnosti: - zavzame veliko površino - ni standarden tip namestitve - draga namestitev

Razlitje UZP na vodi, tvorba plinskega oblaka, gorljiva cona

Možnost nevarnosti požara nastane, če pride do hkratnega pojava naslednjih dveh pogojev:

- obseg koncentracije hlapov, kjer je zemeljski plin v zraku v razponu med LFL in UFL ni zanemarljiv
- v ogroženem območju, kjer so izpolnjeni pogoji gorenja je prisoten tudi vir vžiga.



Za oceno stroškov opreme smo imeli na razpolago naslednje podatke:

- | | | |
|-------------------|------------|---------------|
| • 1. Caterpillar | G3520H SR5 | 6.600.000 EUR |
| • 2. GE Jenbacher | JMS 420 GS | 6.750.000 EUR |
| • 3. GE Jenbacher | JMS 612 GS | 7.200.000 EUR |

Za oceno stroškov postaje za UZP smo izdelali naslednje predloge:

- | | |
|--|---------------|
| • A. Opcija z 5 x (2 x 60m ³ UZP rezervoarji) | 2.500.000 EUR |
| • B. Opcija z 2 x 150m ³ UZP rezervoarji | 1.100.000 EUR |

- Primerjalna cena električne energije brez DDV a z vključenimi vsemi taksami: **0,06454991 EUR/kWh** (junij 2016).
- V grobi oceni proizvodne cene elektrike smo uporabili varianto 1-B.
- Upoštevali smo ceno dobave 550 EUR/t UZP in 10-letno amortizacijsko dobo.
- Porabo smo računali tako za potniške ladje, kot tudi za kontejnerske ladje ob pogoju, da je skupna moč generatorjev omejena na 12,5 MW.
- Za kontejnerske ladje smo privzeli potrebno moč napajanja 10 MW, ki je razporejena skladno z razpoložljivostjo agregatov in predvidene zasedenosti kontejnerskih vezov.
- Izračunana proizvodna cena elektrike je **0,10556 EUR/kWh**.
- Model odjema, s katerim smo računali ekonomiko, je še neoptimiran.



S sofinanciranjem Evropske unije
Instrument za povezovanje Evrope

Hvala za pozornost

Uroš Prosen

TGE Podružnica Ljubljana

uros.prosen@tge-gas.com

