

Izgradnja pratećeg sustava elektrokemijskog kompresora vodika

Petrovčić, Marta

Undergraduate thesis / Završni rad

2025

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:143758>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-01**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Marta Petrović

Zagreb, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Ankica Kovač, MSc. AE.

Student:

Marta Petrovčić

Zagreb, 2025.

Izjavljujem da sam ovaj završni zadatak izradila samostalno koristeći navedenu literaturu i znanja stečena tijekom studiranja.

Zahvaljujem profesoricu Ankicu Kovač na pomoći i savjetima te pristupačnosti tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem kolegama i prijateljima na motivaciji i inspiraciji. Posebno zahvaljujem obitelji i Tomi na pruženoj podršci i ohrabrivanju tijekom studija.

Marta Petrovčić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite

Povjerenstvo za završne i diplomске ispite studija strojarstva za smjerove:

Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarški



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 25 - 96 / 1	
Ur.broj: 15 - 25 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Marta Petrović** JMBAG: 0035236162

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Izgradnja pratećeg sustava elektrokemijskoga kompresora vodika**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Building the Electrochemical Hydrogen Compressor's Balance of Plant**

Opis zadatka:

Elektrokemijski kompresor vodika je elektrokemijski uređaj koji se koristi za komprimiranje vodika, pročišćavanje vodika ili kombinaciju komprimiranja i pročišćavanja vodika. Njegov princip rada sličan je principu rada gorivoga članka s protonski vodljivom membranom. Za smislen, ispravan, siguran i učinkovit rad elektrokemijskoga kompresora vodika potrebno je osigurati cijeli niz popratne elektronike, cjevovoda, osjetnika i dodatnih komponenti koji zajedno čine prateći sustav elektrokemijskoga kompresora vodika. U ovom radu izgradit će se jedan takav prateći sustav za svežanj elektrokemijskoga kompresora vodika kapaciteta 2 kgH₂/dan.

U radu je potrebno:

1. Istražiti tržišno dostupne podsustave pratećeg sustava elektrokemijskoga kompresora vodika.
2. Odrediti kapacitete i odabrati potrebne podsustave s prikazom tehničkih specifikacija.
3. Izraditi konceptualnu shemu spajanja i dati vizualni prikaz svežnja elektrokemijskoga kompresora vodika s izgrađenim pratećim sustavom.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2024.

Zadatak zadan:

Izv. prof. dr. sc. Ankica Kovač

Datum predaje rada:

1. rok: 20. i 21. 2. 2025.
2. rok: 10. i 11. 7. 2025.
3. rok: 18. i 19. 9. 2025.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 24. 2. - 28. 2. 2025.
2. rok: 15. 7. - 18. 7. 2025.
3. rok: 22. 9. - 26. 9. 2025.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

Sadržaj

POPIS SLIKA.....	2
POPIS TABLICA	4
SAŽETAK.....	6
SUMMARY.....	7
1. UVOD	8
2. PROIZVODNJA VODIKA.....	9
3. KOMPRESIJA VODIKA	10
4. ELEKTROKEMIJSKI KOMPRESOR VODIKA.....	11
4.1. Princip rada elektrokemijskog kompresora vodika	11
5. PRATEĆI SUSTAV ELEKTROKEMIJSKOG KOMPRESORA VODIKA.....	12
6. VODIKOV KRUG.....	14
6.1. Anodni ulaz i izlaz, ovlaživač, katodni izlaz.....	14
7. RASHLADNI KRUG.....	26
8. HIDRAULIČKI KRUG.....	31
9. CJEVOVODI.....	34
10. KONTROLNI SUSTAV	36
11. ZAKLJUČAK.....	39
LITERATURA.....	40

POPIS SLIKA

Slika 4.1 Princip rada EHC-a

Slika 5.1 Shema toka EHC-a

Slika 6.1 Spremnik demineralizirane vode

Slika 6.2 Filter za vodu

Slika 6.3 Nepovratni ventil, SS-4C-1/3

Slika 6.4 Ventil za regulaciju tlaka, RSHN2-02-2-VVP

Slika 6.5 Kuglasti ventil, SS-4SKPS4

Slika 6.6 Ovlaživač

Slika 6.7 Odstranjivač nečistoća, SS-4TF-2

Slika 6.8 Ventil za smanjenje tlaka, KPR1GJA417A2000

Slika 6.9 Kuglasti ventil, SS-8GB-S8

Slika 6.10 Manometar, PGU-50-P600-C-4FSF-B

Slika 6.11 Kuglasti ventil SS-43-GF4-31O (lijevo) i aktuator (desno)

Slika 6.12 Termometar, T48A-025-F-19-G-8-SS

Slika 6.13 Kuglasti ventil, SS-83KF4

Slika 6.14 Nepovratni ventil, SS-CHS4-1

Slika 6.15 Regulator tlaka, RSHN2-02-6-VVKL

Slika 6.16 Manometar, PGI-115P-BG600-LAOX-B

Slika 6.17 Odvlaživač

Slika 6.18 Sigurnosni ventil, PRVN6F-02-4-VV

Slika 7.1 Ekspanzijska posuda

Slika 7.2 Indikator protoka

Slika 7.3 Odzračni ventil

Slika 7.4 Izmjenjivač topline

Slika 7.5 Filter za vodu

Slika 7.6 Centrifugalna pumpa

Slika 8.1 Visokotlačna pumpa

Slika 8.2 Nepovratni ventil, 100-41XF4

Slika 8.3 Manometar s Bourdonovom cijevi

Slika 8.4 Tlačni redukcijski ventil, RVSA6FK12NF10-20

Slika 9.1 Swagelok crijeva serije FM

Slika 9.2 Swagelok visokotlačno crijevo serije FX

Slika 9.3 Parker visokotlačno crijevo

Slika 10.1 Shema kontrolnog sustava EHC-a

Slika 11.1 Konceptualna shema spajanja EHC-a i njegovog pratećeg sustava

POPIS TABLICA

Tablica 5.1 Tehničke specifikacije svežnja EHC-a

Tablica 6.1 Spremnik demineralizirane vode

Tablica 6.2 Filter za vodu

Tablica 6.3 Nepovratni ventil, SS-4C-1/3

Tablica 6.4 Ventil za regulaciju tlaka, RSHN2-02-2-VVP

Tablica 6.5 Kuglasti ventil, SS-4SKPS4

Tablica 6.6 Ovlaživač

Tablica 6.7 Odstranjivač nečistoća, SS-4TF-2

Tablica 6.8 Ventil za smanjenje tlaka, KPR1GJA417A2000

Tablica 6.9 Kuglasti ventil, SS-8GB-S8

Tablica 6.10 Manometar, PGU-50-P600-C-4FSF-B

Tablica 6.11 Kuglasti ventil SS-43-GF4-31O (lijevo) i aktuator (desno)

Tablica 6.12 Termometar, T48A-025-F-19-G-8-SS

Tablica 6.13 Kuglasti ventil, SS-83KF4

Tablica 6.14 Nepovratni ventil, SS-CHS4-1

Tablica 6.15 Regulator tlaka, RSHN2-02-6-VVKL

Tablica 6.16 Manometar, PGI-115P-BG600-LAOX-B

Tablica 6.17 Odvlaživač

Tablica 6.18 Sigurnosni ventil, PRVN6F-02-4-VV

Tablica 7.1 Ekspanzijska posuda

Tablica 7.2 Indikator protoka

Tablica 7.3 Odzračni ventil

Tablica 7.4 Izmjenjivač topline

Tablica 7.5 Filter za vodu

Tablica 7.6 Centrifugalna pumpa

Tablica 7.7 Tlačni regulator

Tablica 8.1 Visokotlačna pumpa

Tablica 8.2 Nepovratni ventil, 100-41XF4

Tablica 8.3 Manometar s Bourdonovom cijevi

Tablica 8.4 Tlačni redukcijski ventil, RVSA6FK12NF10-20

Tablica 9.1 Swagelok crijeva serije FM

Tablica 9.2 Swagelok visokotlačno crijevo serije FX

Tablica 11.1 Popis komponenti konceptualne sheme

SAŽETAK

Kompresija, najpoznatiji i najrazumljiviji pristup, najčešća je tehnika pohrane kojom se vodik pohranjuje. U plinovitom stanju vodik ima nisku gustoću i zato ga je potrebno pravilno i sigurno komprimirati. Elektrokemijski kompresor vodika ovdje ima ključnu ulogu jer svojim značajkama doprinosi učinkovitoj pohrani vodika. Primjer jednog elektrokemijskog kompresora vodika nalazi se na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu na temelju kojega je u ovom radu opisana izgradnja njegovog pratećeg sustava. Navedeni su i opisani potrebni podsustavi i komponente te njihove tehničke specifikacije za siguran i pouzdan rad elektrokemijskog kompresora vodika.

Ključne riječi: vodik, elektrokemijski kompresor vodika, prateći sustav

SUMMARY

Compression, the best known and most understandable approach, is the most common storage technique used to store hydrogen. In its gaseous state, hydrogen has a low density and therefore needs to be compressed properly and safely. The electrochemical hydrogen compressor plays a key role here because its features contribute to the efficient storage of hydrogen. An example of an electrochemical hydrogen compressor is located at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, on the basis of which this work describes the construction of its Balance of Plant. The necessary subsystems and components and their technical specifications for the safe and reliable operation of the electrochemical hydrogen compressor are listed and described.

Key words: hydrogen, electrochemical hydrogen compressor, balance of plant

1. UVOD

Potaknuti hitnom potrebom dekarbonizacije u svim sektorima, znanstvenici, međunarodne organizacije i vlade traže najučinkovitije načine za postizanje ovoga cilja [1]. Vodik ovdje igra ključnu ulogu – vodik je plin, bez boje, okusa i mirisa. Vodik je nositelj energije koju se može pohraniti i isporučiti. Njegova uporaba je široka, od rafiniranja nafte, u petrokemijskoj industriji i proizvodnji hrane, sve do proizvodnje električne energije za potrebe u različitim sektorima. Elektrokemijskom reakcijom vodika s kisikom u gorivnome članku, osim električne energije kao glavnog produkta, nastaju samo vodena para i toplina kao jedini nusprodukti.

Međutim, od cjelokupne proizvodnje vodika u svijetu, najviše se za nju koriste fosilna goriva što naravno povećava količinu ugljikovog dioksida (CO_2) otpuštenoga u atmosferu [2].

Upravo iz ovih razloga, potrebno je težiti proizvodnji zelenog vodika – vodika proizvedenog elektrolizom vode korištenjem obnovljivih izvora energije (OIE) bez popratnih štetnih emisija. Vodikovim daljnjim komprimiranjem i korištenjem u gorivnim člancima, omogućava se kruženje vodika u prirodi bez popratnih štetnih emisija.

U ovom radu opisan je elektrokemijski kompresor vodika kapaciteta $2 \text{ kgH}_2/\text{dan}$ i izgradnja pratećeg sustava koji je potreban za njegov ispravan i siguran rad.

2. PROIZVODNJA VODIKA

Vodik se može proizvesti nizom različitih procesa koji koriste različite izvore energije i sirovine. Među njima se ističu toplinski, elektrokemijski, sunčani i biološki procesi, koji zajedno čine raznoliku bazu za proizvodnju ovog ključnog energetskog nositelja [3]. Postoji cijeli spektar boja vodika, ovisno o vrsti njegove proizvodnje. Klasifikacija prema bojama pomaže razlikovati različite metode proizvodnje i njihov utjecaj na okoliš. Tako postoje zeleni, plavi, sivi, crni, smeđi, rozi, tirkizni vodik [4], zatim bijeli i drugi.

Toplinski procesi koriste energiju iz resursa poput prirodnog plina, ugljena ili biomase za izdvajanje vodika iz njihove molekularne strukture. Na primjer, reformiranje prirodnoga plina i uplinjavanje ugljena komercijalno su dostupne tehnologije koje se često primjenjuju u industriji, iako ih prati emisija CO₂. Alternativno, toplina u kombinaciji sa zatvorenim kemijskim ciklusima može se koristiti za proizvodnju vodika iz vode, čime se smanjuje ovisnost o fosilnim gorivima. Elektrolizatori koriste električnu energiju za razdvajanje vode na vodik i kisik, što omogućava čistu proizvodnju vodika kada se koristi energija iz OIE. Ova je tehnologija već dobro razvijena i komercijalno dostupna, a nova istraživanja usmjerena su na prilagodbu sustava povremenoj dostupnosti OIE, poput sunčeve energije, energije vjetra i drugih. Izravno razlaganje, ili fotolitički procesi, koriste svjetlosnu energiju za direktno razlaganje molekule vode na vodik i kisik. Ovi procesi trenutno su u ranoj fazi istraživanja, ali nude dugoročni potencijal za održivu proizvodnju vodika s minimalnim utjecajem na okoliš. Slično tome, mikroorganizmi poput bakterija i mikroalgi mogu proizvoditi vodik kroz biološke reakcije koristeći sunčevu svjetlost ili organsku tvar. Iako su biološki procesi još uvijek u fazi razvoja, njihov potencijal za niskougljičnu i održivu proizvodnju vodika čini ih obećavajućom tehnologijom za budućnost [3].

3. KOMPRESIJA VODIKA

Najčešća današnja metoda pohrane vodika jest kompresija vodika, čiji se tlakovi pohrane kreću između 20 i 25 MPa [5]. Zadnji korak u proizvodnji vodika prije pretvorbe za pohranu i transport je upravo kompresija i ona ima ključnu ulogu [6].

Postoji šest različitih vrsta kompresora vodika. Klipni kompresor koristi klip koji se pomiče u svrhu smanjenja volumena, čime se tlak povećava [7]. Ovaj kompresor je visoko učinkovit zbog konstrukcije s pozitivnim pomakom [8]. Centrifugalni kompresor sadrži rotor koji okretanjem komprimira vodik, a koristi se kada je potreban visokotlačni kompresor vodika. Membranski kompresori slični su klipnim, samo umjesto klipa imaju membranu koja se pomiče i tako povećava tlak, smanjujući volumen. Ovi su kompresori značajni po nižoj razini buke i vibracijama, a koriste se za niskotlačne primjene. Spiralni kompresori okretanjem svoja dvije isprepletene zavojnice hvataju i komprimiraju vodik, povećavajući njegov tlak, a koriste se za primjene niskog do srednjeg tlaka i visoko su učinkoviti. Kriogeni vodikov kompresor rješenje je za sustav korištenja vodika kao goriva, uključujući ukapljivanje vodika do vrlo niskih temperatura zbog pohrane na 350 ili 700 bara.

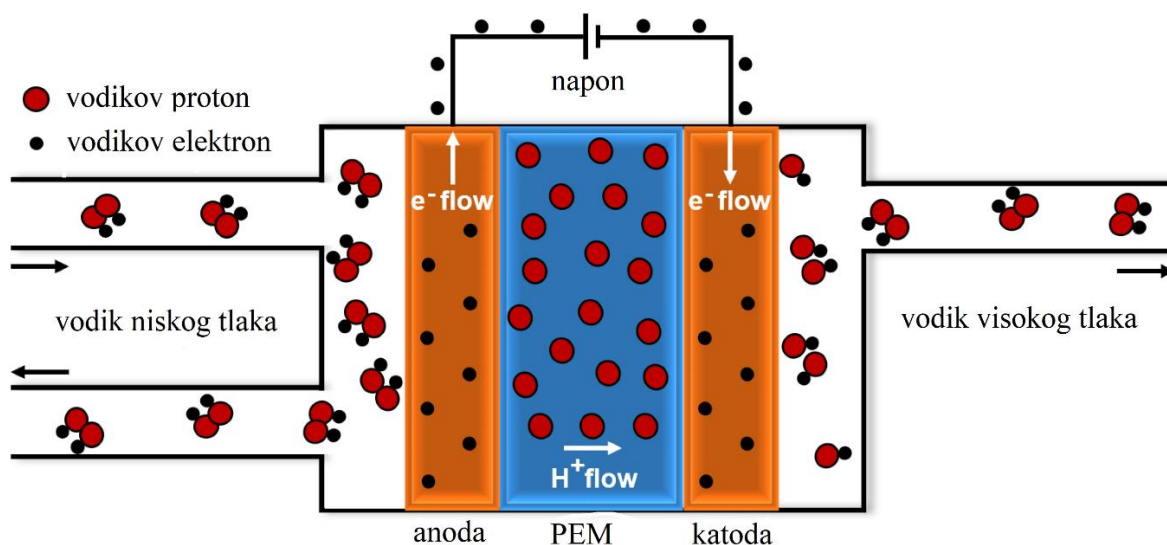
I na kraju – elektrokemijski kompresor, čiji je prateći sustav tema ovoga rada. Elektrokemijski kompresor vodika najnoviji je tip kompresora koji koristi električnu energiju za komprimiranje vodika, a uz to može i pročišćavati vodik [7]. Ističe se jer nema pokretnih dijelova kao gore opisani mehanički kompresori, njegov je rad bešuman i bez vibracija, a također je i visoko učinkovit u odnosu na mehaničke kompresore [9].

Princip rada i ostale značajke detaljno su opisane u nastavku.

4. ELEKTROKEMIJSKI KOMPRESOR VODIKA

4.1. Princip rada elektrokemijskog kompresora vodika

Elektrokemijski kompresor vodika (engl. *Electrochemical Hydrogen Compressor* – EHC) ima sličan princip rada kao gorivni članak s protonski izmjenjivom membranom (engl. *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* – PEMFC). Vodik niskoga tlaka dovodi se na anodni dio EHC-a gdje se odvija reakcija oksidacije vodika (engl. *Hydrogen Oxidation Reaction* – HOR). Pomoću dovedene istosmjerne struje, vodik se razdvaja na protone i elektrone, a zatim protoni prolaze kroz protonski izmjenjivu membranu (eng. *Proton Exchange Membrane* – PEM), ali elektroni i zaostale plinske čestice ne uspijevaju proći kroz nju. Na katodi se zatim događa reakcija ponovnoga spajanja protona, koji su prošli kroz membranu, i elektrona manipulirani vanjskom putanjom koja je rezultat nametnutog strujnog kruga. Ova reakcija naziva se reakcijom razvijanja vodika (engl. *Hydrogen Evolution Reaction* – HER). Tako sada nastaje vodik visokoga tlaka, a uvjet da se na katodi dobije takav tlak je da katodni dio bude čvrsto zatvoren i nepropustan za zrak i vodu [10].



Slika 4.1 Princip rada EHC-a [11]

5. PRATEĆI SUSTAV ELEKTROKEMIJSKOG KOMPRESORA VODIKA

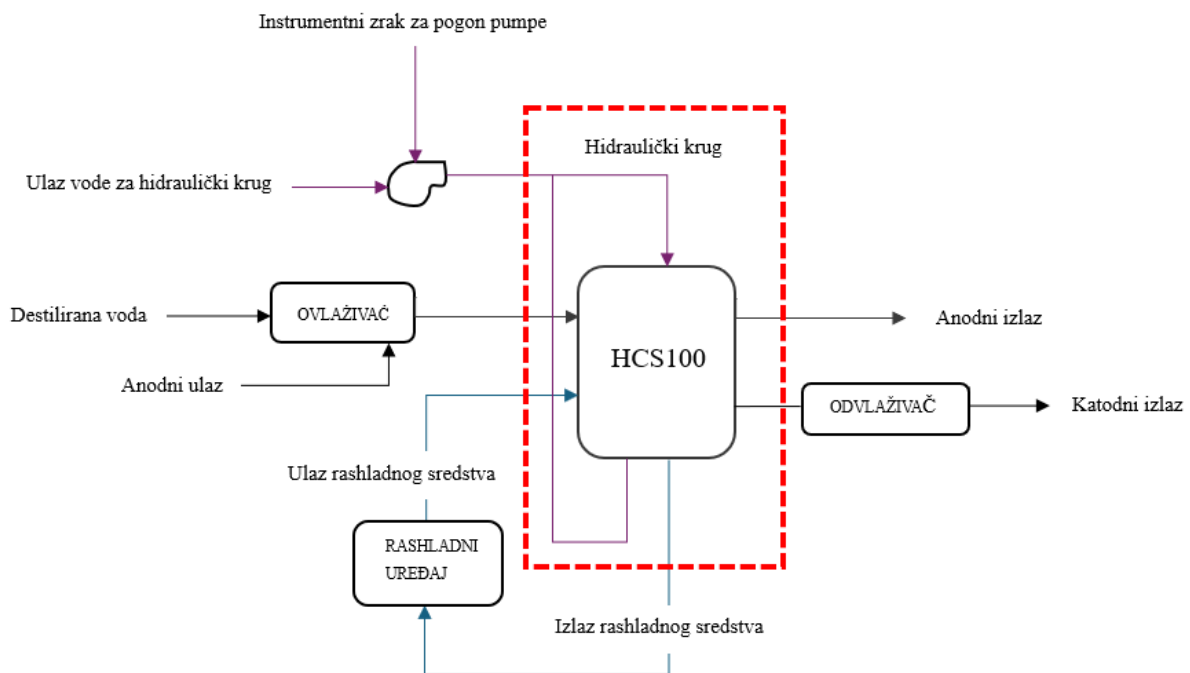
Za siguran rad elektrokemijskog kompresora vodika potrebno je osigurati niz popratne elektronike, cijevi, ventila, žica. Zbog složenosti procesa i principa rada EHC-a potrebno je osim vodikova kruga osigurati i rashladni krug, hidraulički krug, odvlaživače i ovlaživače te jedinicu napajanja i upravljanja. Fakultet strojarstva i brodogradnje posjeduje jedan EHC, a dimenzioniranje njegovog pratećeg sustava opisan je i predložen u ovom radu. U nastavku slijedi tablica tehničkih specifikacija za proizvodnju 1 kgH₂/dan pri tlaku od 300 bara [13].

Tablica 5.1 Tehničke specifikacije svežnja EHC-a [13]

TEHNIČKE SPECIFIKACIJE			
PARAMETAR	MINIMALNO	NOMINALNO	MAKSIMALNO
Proračunska temperatura (°C)	5-55		
Ulazni sastav	Čisti vodik		
Kontrola vlažnosti (pomoću demineralizirane vode)	90-99% relativne vlažnosti bez kondenzacije		
Radna temperatura (°C)	35±2		
Izlazni sastav	99,999% (potpuno zasićen)		
Izlazna temperatura vodika (°C)	35±2		
Ulazni radni tlak (bar)	5	10	15
Izlazni radni tlak (bar)	200	400	400
Raspon temperature okoliša (°C)	5-55		
Temperatura pohrane (°C)	5-55		
Proračunski tlak (bar)	600		
Spoj ulaza/izlaza niskotlačnog vodika	1/4" Swagelok cijevni priključak		
Spoj izlaza visokotlačnog vodika	1/4" Swagelok srednjetačni konusni i navojni priključak		
Spoj izlaza/ulaza rashladnog kruga	3/8" Swagelok cijevni priključak		
Stupanj kvalitete demineralizirane vode rashladnog kruga	Stupanj 3 (prema ISO3696 (1987))		
Stupanj kvalitete demineralizirane vode za ovlaživanje	Stupanj 3 (prema ISO3696 (1987))		
SPECIFIKACIJE ZA EHC, 2 kgH ₂ /dan			

Energetska učinkovitost (kWh/kg) – pri nominalnoj gustoći struje od 1A/cm ²	8
Potrošnja struje (kW)	0,7
Težina (kg)	175
Kapacitet protoka hlađenja (maksimalan) (m ³ /h)	0,65
Dimenzija svežnja (svežanj + stalak) (LxWxH) (m)	0,35 x 0,65 x 0,27
PSU dimenzije (LxWxH) (m)	0,70 x 0,50 x 0,305
Hidraulički klipni tlak (bar)	800

Određeni dio opreme se nalazi u Laboratoriju za vodik FSB-a, a čini ga crveni isprekidani pravokutnik na slici 5.1. Slika prikazuje dijagram toka EHC-a [13].



Slika 5.1 Shema toka EHC-a [13]

6. VODIKOV KRUG

6.1. Anodni ulaz i izlaz, ovlaživač, katodni izlaz

Vlažnost membrane EHC-a je važna jer se time osigurava njezina učinkovita protonska vodljivost. Vodljivost opada što je membrana manje vlažna, čime se smanjuje učinkovitost EHC-a. Kako bi se to spriječilo, ovlaživačem se može osigurati dovoljna razina vlažnosti. Zbog važnosti vlažnosti membrane, vodik se do anode dovodi kroz ovlaživač. Za proces ovlaživanja vodika koristi se demineralizirana voda, a princip ovlaživanja odvija se pomoću mjehurića demineralizirane vode. Kako bi se očitala vlažnost vodika i kontroliralo njegov ulazak u daljnji sustav, potrebno je osigurati osjetnik za vlažnost i regulator ulaznog tlaka [10]. Vlažnost vodika treba biti kontroliran između 90 i 99%. Za ispravan rad na anodnom ulazu potrebno je osigurati čisti vodik na ulazu, što znači da sastav mora biti u skladu s ISO 14687-2 (Tip I, stupanj D), bez ugljikovog monoksida (CO), sumpora i dušičnih komponenti. Tekuću vodu u niskotlačnom ulazu treba spriječiti na način da se temperatura grijanja održava iznad točke rosišta, a radna i ulazna temperatura vodika trebaju biti jednake. Anodni vod treba biti toplinski praćen i potpuno izoliran kako bi se spriječila kondenzacija ovlaženog vodika [13].

Spremnik demineralizirane vode dobavlja vodu za tri dijela sustava: hidraulički (testni krug), rashladni krug, te ovlaživanje vodika. U ovu svrhu predložen je plastični vertikalni spremnik proizvođača Ace Roto - Mold [14].

Tablica 6.1 Spremnik demineralizirane vode [15]

Ace Roto - Mold, spremnik VT0020-16	
Volumen spremnika (L)	75,7082
Materijal	Polietilen
Dimenzija (promjer/visina) (in.)	16/28
Maksimalna temperatura (°C)	54,44
Spajanje	¾ in. NPT, ženski



Slika 6.1 Spremnik demineralizirane vode [15]

Voda na putu do testnog hidrauličkog kruga i do ovlaživača mora proći kroz filter za uklanjanje potencijalnih nečistoća, kako bi se zaštitile komponente sustava. U tu svrhu odabran je filter proizvođača Pure Aqua, Inc., koji je jednostavan za održavanje i ima lako zamjenjive i lako dobavljive komponente [14].

Tablica 6.2 Filter za vodu [16]

Pure Aqua, Inc., MLF20-A-SS	
Minimalni/maksimalni protok (m ³ /h)	5/9,9
Spajanje ulaz/izlaz	½ in. NPT
Materijal	304



Slika 6.2 Filter za vodu [16]

Nakon ovog filtera sustav se grana. U nastavku je promatran dio grane sustava prema ovlaživaču. Najprije je potrebno ugraditi jedan Swagelok nepovratni ventil serije C kako ne bi došlo do povratnog toka fluida, a time i oštećenja komponenti. Njegove specifikacije navedene su u tablici 6.3.

Tablica 6.3 Nepovratni ventil, SS-4C-1/3 [17]

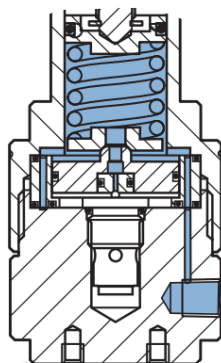
Swagelok, SS-4C-1/3	
Tlak povratnog strujanja (bar)	0,03
Maksimalni protutlak na 20 °C (bar)	68,9
Spajanje	¼ in. Swagelok cijevni priključak
Materijal	316 SS

**Slika 6.3** Nepovratni ventil, SS-4C-1/3 [17]

Na anodnom ulazu, prije ovlaživača, potrebno je osigurati različite ventile i regulatore. Vodik iz međuspremnika dolazi pod tlakom od 200 bara te je iz tog razloga najprije potrebno osigurati ventil za regulaciju tlaka [14]. Njime se smanjuje tlak na niži. Kada je vodik na nižem tlaku, njime je lakše upravljati [18]. Odabran je Swagelok ventil za regulaciju tlaka, serije RHPS. U tablici 6.4 sadržane su glavne tehničke specifikacije odabranog ventila [19].

Tablica 6.4 Ventil za regulaciju tlaka, RSHN2-02-2-VVP [19]

Swagelok, RSHN2-02-2-VVP	
Maksimalni ulazni tlak (bar)	700
Raspon regulacije tlaka (bar)	0 – 25
Spajanje ulaz/izlaz	¼ in. NPT, ženski
Materijal	316 SS

**Slika 6.4** Ventil za regulaciju tlaka, RSHN2-02-2-VVP [19]

Nadalje, kako bi se spriječio povrat fluida, postavlja se nepovratni ventil koji omogućava protok fluida u jednom smjeru unutar cijevi, uz mali otpor strujanju fluida (kriterij kvalitete nepovratnog ventila) te štiti opremu od skokova tlaka [18]. Odabran je već opisan Swagelok nepovratni ventil, serije C, točnije SS-4C-1/3 [17].

Zbog jednostavnijeg održavanja sustava te lakše montaže, potrebno je prije i poslije ovlaživača ugraditi zaporne ventile [14]. Swagelok kuglasti ventil SK serije odgovarajući je ventil za ovakvu primjenu, a njegove specifikacije navedene su u tablici 6.5.

Tablica 6.5 Kuglasti ventil, SS-4SKPS4 [20]

Swagelok, SS-4SKPS4	
Radni tlak (bar)	do 413
Spajanje	¼ in. Swagelok cijevni priključak
Materijal	316 SS

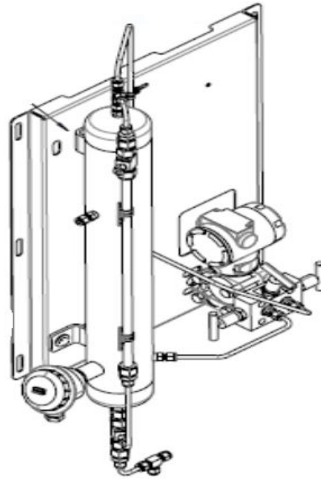


Slika 6.5 Kuglasti ventil, SS-4SKPS4 [20]

Kao što je već napomenuto, odabrani ovlaživač je potreban za pravilan i učinkovit rad EHC-a, a njegove tehničke specifikacije prikazane su u tablici 6.6.

Tablica 6.6 Ovlaživač [21]

Ovlaživač	
Radni raspon tlakova (bar)	5 - 22
Približne dimenzije (v x š x d)	126 x 610 x 260
Približna težina (kg)	<40



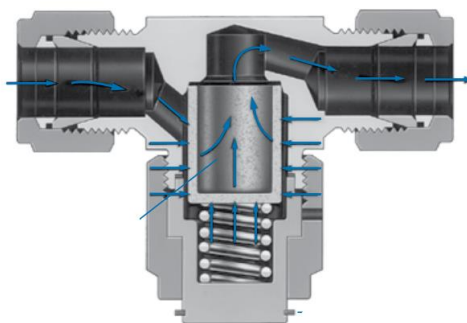
Slika 6.6 Ovlaživač [21]

Zbog opasnosti od povratnog toka vodika u ovlaživač, ponovno se osigurava sustav pomoću prethodno odabranog Swagelok nepovratnog ventila, serije C.

Vodik dalje putuje kroz Swagelok odstranjivač nečistoća TF serije koji uklanja moguće nečistoće. Ova serija ventila ima mogućnost zamjene elementa filtera bez skidanja kućišta cijelog sustava [22].

Tablica 6.7 Odstranjivač nečistoća, SS-4TF-2 [22]

Swagelok, SS-4TF-2	
Filtracijska veličina (μm)	2
Radni tlak (bar)	206
Spajanje ulaz/izlaz	$\frac{1}{4}$ in. Swagelok cijevni priključak
Materijal	316 SS



Slika 6.7 Odstranjivač nečistoća, SS-4TF-2 [22]

Kako bi se dodatno održavao željeni tlak u sustavu prije EHC-a, ugrađuje se ventil za smanjenje tlaka, u slučaju porasta tlaka kroz odstranjivač nečistoća [14]. Odabran je Swagelok ventil za smanjenje tlaka serije K.

Tablica 6.8 Ventil za smanjenje tlaka, KPR1GJA417A2000 [23]

Swagelok, KPR1GJA417A2000	
Maksimalni ulazni tlak (bar)	34,4
Raspon regulacije tlaka (bar)	0 – 17,2
Spajanje ulaz/izlaz	¼ in. NPT, ženski
Materijal	316 SS



Slika 6.8 Ventil za smanjenje tlaka, KPR1GJA417A2000 [23]

Kada se smanji tlak ventilom za smanjenje tlaka na željenih nominalnih 10 bara, ugrađuje se kuglasti ventil malog otpora strujanju, a koji omogućava lakšu i jednostavniju ugradnju komponenti u sustav ili isključivanje dijela sustava ukoliko je to potrebno [14]. U tu svrhu, predložen je Swagelok standardni kuglasti ventil serije GB, koji se odlikuje povećanom sigurnošću zbog vijka s mehaničkim zaključavanjem [24].

Tablica 6.9 Kuglasti ventil, SS-8GB-S8 [24]

Swagelok, SS-8GB-S8	
Radni tlak (bar)	413
Spajanje	½ in. Swagelok cijevni priključak
Materijal	316 SS



Slika 6.9 Kuglasti ventil, SS-8GB-S8 [24]

Nakon zapornog ventila, a u svrhu provjere treba li negdje ispraviti rad komponenti ili samo provjeriti tlak u sustavu, dodaje se mjerač tlaka, manometar PGU serije tvrtke Swagelok [25].

Tablica 6.10 Manometar, PGU-50-P600-C-4FSF-B [25]

Swagelok, PGU-50-P600-C-4FSF-B	
Raspon očitavanja tlaka (bar)	0 - 40
Spajanje	¼ in. VCR, ženski priključak



Slika 6.10 Manometar, PGU-50-P600-C-4FSF-B [25]

Kako bi se dodatno osigurao protok vodika, potrebno je automatizirati sustav. Solenoidni je ventil elektronički upravljani ventil koji se koristi za dopuštanje/sprječavanje protoka [26] te za regulaciju procesa [14]. Odabran je Swagelok jednodijelni instrumentacijski kuglasti ventil serije 40G s određenim pneumatskim aktuatorom [27, 28].

Tablica 6.11 Kuglasti ventil s akuatorom, SS-43-GF4-31O [27, 28]

Swagelok, SS-43-GF4-31O	
Radni tlak (bar)	0 - 206
Spajanje ulaz/izlaz	¼ in. NPT, ženski
Materijal	316 SS
Minimalni tlak akuatora (bar)	5,6
Način aktiviranja	Povratna opruga, normalno otvorena

**Slika 6.11** Kuglasti ventil SS-43-GF4-31O (lijevo) i akuator (desno) [27, 28]

Slijedi još jedan prethodno predloženi nepovratni ventil Swagelok serije C u slučaju protusmjernog strujanja vodika.

Za kraj, a prije ulaska u EHC, potrebno je instalirati Swagelok termometar s bimetalnom spiralnom zavojnicom podesivoga kuta namještanja i temperaturne skale u stupnjevima Celzijevim [14] kako bi se utvrdila temperatura traženoga raspona od 35 ± 2 °C. Ovaj termometar ima preciznost do ± 1 % [29], a njegove specifikacije navedene su tablici 6.12.

Tablica 6.12 Termometar, T48A-025-F-19-G-8-SS [29]

Swagelok, T48A-025-F-19-G-8-SS	
Mjerno područje (°C)	-40 - 70
Spajanje	½ in. NPT, muški
Materijal	316 SS



Slika 6.12 Termometar, T48A-025-F-19-G-8-SS [29]

Ulaz u EHC spojen je $\frac{1}{4}$ in. Swagelok cijevnim priključkom, a izlaz iz kompresora $\frac{1}{4}$ in. Swagelok konusnim i navojnim priključkom srednjeg tlaka, prema slici 5.1 i tablici 5.1.

U EHC-u vlažni vodik se tlači na nominalnih 400 bara [13]. Prije nego što se pohrani u glavni spremnik, vodik se mora odvlaživati jer u spremnik smije ući samo vodik čistoće 99,999% [30].

U nastavku slijedi izgradnja katodnog izlaza iz EHC-a.

Vodik pod tlakom od 400 bara izlazi iz EHC-a i prolazi kroz kuglasti ventil radi jednostavnijeg održavanja i/ili u slučaju kvara sustava [14]. Odabran je Swagelok kuglasti ventil serije 83 [31] sa značajkama navedenima u tablici 6.13.

Tablica 6.13 Kuglasti ventil, SS-83KF4 [31]

Swagelok, SS-83KF4	
Radni tlak (bar)	413
Spajanje	$\frac{1}{4}$ in. NPT, ženski
Materijal/materijal brtve	316 SS/PCTFE



Slika 6.13 Kuglasti ventil, SS-83KF4 [31]

S ciljem zaštite EHC-a, potrebno je instalirati Swagelok nepovratni ventil serije CH [32].

Tablica 6.14 Nepovratni ventil, SS-CHS4-1 [32]

Swagelok, SS-CHS4-1	
Nazivni tlak (bar)	413
Tlak povratnog strujanja (bar)	0,07
Spajanje ulaz/izlaz	¼ in. Swagelok cijevni priključak
Materijal	316 SS



Slika 6.14 Nepovratni ventil, SS-CHS4-1 [32]

Nakon nepovratnog ventila, postavlja se regulator tlaka Swagelokove RSH serije i zatim manometar PGI serije, model P za industrijske namjene prije ulaska u odvlaživač, kako bi se osigurao traženi nominalni tlak na kojemu radi odvlaživač (400 bara) [19, 33]. Specifikacije regulatora tlaka navedene su u tablici 6.15.

Tablica 6.15 Regulator tlaka, RSHN2-02-6-VVKL [19]

Swagelok, RSHN2-02-6-VVKL	
Maksimalni ulazni tlak (bar)	700
Raspon regulacije tlaka (bar)	0 – 700
Spajanje ulaz/izlaz	¼ in. NPT, ženski
Materijal/materijal brtve klipa/materijal sjedišta brtve	316 SS/ fluorougljik FKM /PCTFE



Slika 6.15 Regulator tlaka, RSHN2-02-6-VVKL [34]

Tablica 6.16 Manometar, PGI-115P-BG600-LAOX-B [33]

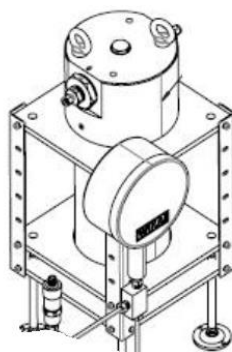
Swagelok, PGI-115P-BG600-LAOX-B	
Mjerni raspon (bar)	0 - 600
Spajanje	¼ in. NPT, muški

**Slika 6.16** Manometar, PGI-115P-BG600-LAOX-B [33]

Zatim slijedi odvlaživač čije su tehničke specifikacije prikazane u tablici 6.17 [35]:

Tablica 6.17 Odvlaživač [35]

Odvlaživač	
Protok (kgH ₂ /dan)	2
Radni tlak (minimalni/nominalni/maksimalni) (bar)	200/400/500
Projektni tlak (bar)	550
Ulazna temperatura (°C)	35±2
Projektna temperatura (°C)	5 - 55

**Slika 6.17** Odvlaživač [35]

Prije tlačnog spremnika još je potrebno ugraditi sigurnosni ventil, termometar te regulator tlaka [14]. Predložen je isti Swagelok bimetalni termometar kao i prije EHC-a na anodnom ulazu, a regulator tlaka također je jednak onome koji se koristio na katodnom izlazu prije odvlaživača, Swagelok serije RSH. Sigurnosni ventil također je tvrtke Swagelok [36] čije su teničke specifikacije prikazane u tablici 6.18.

Tablica 6.18 Sigurnosni ventil, PRVN6F-02-4-VV [36]

Swagelok, PRVN6F-02-4-VV	
Maksimalni ulazni tlak (bar)	413
Tlak podešavanja (bar)	280 - 413
Spajanje ulaz/izlaz	¾ in. NPT, ženski
Materijal/materijal brtve/materijal sjedišta brtve	316 SS/fluorougljik FKM/ fluorougljik FKM



Slika 6.18 Sigurnosni ventil, PRVN6F-02-4-VV [36]

Uz katodni izlaz iz EHC-a, dio sustava je i anodni izlaz iz kojeg se oslobađaju komponentne plina, zbog selektivnosti membrane EHC-a. Tako EHC djeluje i kao pročištač [9]. Prije nego što vodik uđe u EHC, miješa se sa strujom vodika iz anodnog izlaza [14]. U tu je granu još potrebno instalirati prethodno odabrane sljedeće komponente proizvođača Swagelok: bimetalni termometar (T48A-025-F-19-G-8-SS), sigurnosni ventil (PRVN6F-02-4-VV), kuglasti ventil (SS-4SKPS4), nepovratni ventil (SS-CHS4-1) te kuglasti ventil s aktuatorom (SS-43-GF4-31O). Anodni izlaz iz EHC-a je ¼ in. Swagelok cijevni priključak [13].

7. RASHLADNI KRUG

Teorijski gledano, kompresija u EHC-u trebala bi biti izotermna, ali u stvarnosti postoje toplinski gubici zbog otpora koji u obliku viška topline uzrokuju povišenje temperature i njenu neravnomjernu raspodjelu kroz komponente sustava, uzrokovanu kondukcijom, konvekcijom i zračenjem. Glavni razlog nakupljanja topline u EHC-u je upravo PEM gdje, zbog djelovanja Jouleovog efekta, povećanje razlike potencijala dovodi do omskog otpora i stvaranja Jouleove topline. Povećavajući broj članaka u EHC-u, bez odgovarajućeg sustava hlađenja, svaki članak stvara svoju toplinu koja se serijskim spojem prenosi na susjedne članke. Tako dolazi do neželjene akumulacije topline te porasta radne temperature, a kroz membranu mora prolaziti određena količina vlage kako bi EHC ispravno funkcionirao, bio učinkovit, te kako ne bi došlo do kvara sustava [9]. Zbog ovoga je od velike važnosti omogućiti ovakvom sustavu rashladni krug.

Za rashladni krug potrebno je osigurati pumpu, spremnik s rashladnim sredstvom, izmjenjivač topline (hladnjak), ekspanzijsku posudu i odgovarajuće ventile/regulatore [14]. Maksimalni protok rashladnog sredstva je $0,65 \text{ m}^3/\text{h}$, ulazna temperatura rashladne vode je $35 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ i izlazne $37 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$, a materijali komponenti moraju biti od nehrđajućeg čelika te je potrebno koristiti demineraliziranu vodu. Također, priključci na EHC koji se koriste za ulaz i izlaz rashladne vode su $3/8 \text{ in.}$ Swagelok cijevni priključci [13]. Demineralizirana voda iz spremnika najprije prolazi kroz Swagelok kuglasti ventil serije GB, identičan onome korištenom poslije ovlaživača u anodnom dijelu sustava. Potrebno je osigurati ekspanzijsku posudu kao sigurnosni uređaj u slučaju akumulacije vode u sustavu nastaloj uslijed zagrijavanja. Otvorena ekspanzijska posuda ima stalnu vezu s atmosferom i omogućava sustavu smanjenje tlaka u slučaju prevelikog povišenja tlaka. Ekspanzijsku posudu potrebno je pozicionirati na najvišu točku instaliranoga sustava [14, 18]. Predložena je Cordivari otvorena ekspanzijska posuda [14, 37]. Nakon ove posude potrebno je osigurati Swagelok adapter materijala 316 SS (SS-16-TA-1-8) čiji je jedan kraj moguće priključiti na ekspanzijsku posudu, a drugi je kraj $1/2 \text{ in.}$ muškog NPT navoja [38].

Tablica 7.1 Ekspanzijska posuda [37]

Cordivari, ekspanzijska posuda	
Ekspanzijski volumen (L)	30
Radni tlak (bar)	1
Dimenzije (H x W x H) (mm)	276 x 455 x 430
Spajanje	1 in. ženski
materijal	304 SS



Slika 7.1 Ekspanzijska posuda [37]

Prije ulaska u izmjenjivač, odnosno hladnjak, rashladnoj je vodi potrebno izmjeriti temperaturu i količinu protoka. U tu svrhu predložen je prethodno spomenuti Swagelokov bimetalni termometar, dok je za indikator protoka predložen vertikalni Swagelokov serije FV4 [14, 39] čije su specifikacije navedene u tablici 7.2.

Tablica 7.2 Indikator protoka [39]

Swagelok, 6L-FV4B-S4	
Radni tlak (bar)	344
Spajanje	¼ in. Swagelok cijevni priključak
Materijal	316 SS



Slika 7.2 Indikator protoka [39]

Kako ne bi došlo do oštećenja cijevi ili ostalih dijelova sustava, potrebno je ugraditi ventil za odzračivanje. Ovaj ventil ispušta mjehuriće pare nastale u sustavu [14]. U ovu svrhu odabran je Swagelok odzračni ventil [40].

Tablica 7.3 Odzračni ventil [40]

Swagelok, SS-BVM4	
Radni tlak (bar)	689
Spajanje	¼ in. NPT, muški
Materijal	316 SS

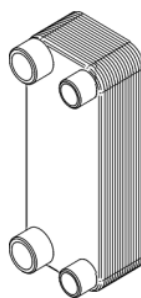


Slika 7.3 Odzračni ventil [40]

Izmjenjivač topline korišten za hlađenje rashladne vode je HCBP pločasti izmjenjivač topline, tvrtke Hennlich. To je lemljeni pločasti izmjenjivač od tankih, blago razdvojenih ploča velikih površina koje se mogu rastaviti i po potrebi očistiti [18, 41]. Potrebno je koristiti Swagelokov adapter SS-12-TA-7-12 (ženski NPT ¾ in) od 316 nehrđajućeg čelika kako bi se omogućilo daljnje spajanje komponenti rashladnoga sustava [42].

Tablica 7.4 Izmjenjivač topline [41]

Hennlich, HCBP pločasti izmjenjivač topline model HCBP-B5T	
Temperaturni raspon (°C)	-195 - 225
Radni tlak (bar)	31
Maksimalni broj ploča	60
Spajanje	¾ in. ISO G, muški



Slika 7.4 Izmjenjivač topline [41]

Prije nego uđe u odabranu centrifugalnu pumpu, rashladna se voda miješa s vodom iz ekspanzijske posude i filtrira kroz filter/spremnik od nehrđajućeg čelika tvrtke Pure Aqua, Inc., model MF-1000, zbog potencijalnih nečistoća u rashladnoj vodi kao i radi očuvanja sustava [14, 43].

Tablica 7.5 Filter za vodu [43]

Pure Aqua, Inc., MLF20-A-SS	
Minimalni/maksimalni protok (m ³ /h)	5/9,9
Spajanje ulaz/izlaz	½ in. NPT
Materijal	304 SS

**Slika 7.5** Filter za vodu [43]

Nakon toga voda dolazi do centrifugalne pumpe firme Pedrollo model CP210A [14, 44]. Potrebno je osigurati Swagelok adaptere: SS-24-TA-1-16 muški 1,5 in. NPT za ulaz i SS-16-TA-1-16 muški 1 in. NPT za izlaz iz ove pumpe. Oba priključka su izrađena od nehrđajućeg čelika [42].

Tablica 7.6 Centrifugalna pumpa [44]

Pedrollo, CP210A	
Maksimalni radni tlak (bar)	10
Maksimalni protok (m ³ /h)	54
Raspon temperature radnog medija (°C)	-10 - 90
Spajanje ulaz/izlaz	1.5 in. DN/1 in. DN

**Slika 7.6** Centrifugalna pumpa [44]

U slučaju previsokoga tlaka instaliran je Swagelok tlačni regulator serije K [23].

Tablica 7.7 Tlačni regulator [23]

Swagelok, KPR1GJA417C30000	
Maksimalni ulazni tlak (bar)	34,4
Raspon regulacije tlaka (bar)	0 – 17,2
Spajanje	¼ in NPT, ženski
Materijal	316 SS

Prije ulaska rashladne vode u EHC, postavljaju se prethodno predloženi bimetalni termometar i manometar PGI serije.

8. HIDRAULIČKI KRUG

Na kraju, da bi se prije samog puštanja vodika istražila sigurnost i ispravnost sustava, potrebno je provesti hidrauličko ispitivanje koje se provodi pod određenim uvjetima. Prvi pogonski dio hidrauličkog kruga je pumpa koja iz spremnika demineralizirane vode pumpa vodu pod visokim tlakom (800 bar) dalje u sustav, a pogonjena je zrakom. Kroz EHC se radni medij podiže na 1300 bar, te se na taj način testira njegova izdržljivost i konstrukcija. Drugi dio, odnosno upravljački dio, čine ventili i razvodnici. Nakon što je obavljeno hidrauličko ispitivanje, oslobađaju se ventili tlaka i voda se vraća nazad u spremnik [18].

Kao što je opisano u 6. poglavlju, jedan dio sustava se nakon odstranjivača nečistoća grana prema ovlaživaču, a ovdje je opisan dio koji vodi prema pumpi koja tlači vodu na 800 bara za ispitivanje ispravnosti EHC-a.

Odabrana je visokotlačna pumpa pogonjena zrakom proizvođača Maximator model M189, a njene osnovne značajke i izgled prikazani su u tablici 8.1., odnosno na slici 8.1 [13].

Tablica 8.1 Visokotlačna pumpa [45]

Maximator, M189LVE4H	
Maksimalni tlak (bar)	2200
Protok (L/min)	0,28
Spajanje ulaz/izlaz/ulaz zraka	3/8 in. BSP
Materijal	SS



Slika 8.1 Visokotlačna pumpa [45]

Prije samog ulaska vode u EHC, potrebno je osigurati nepovratni ventil. Budući da Swagelok ne proizvodi visokotlačne nepovratne ventile, odabran je nepovratni ventil proizvođača HiP [46] sa značajkama i izgledom kako je prikazano u tablici 8.2 i na slici 8.2.

Tablica 8.2 Nepovratni ventil, 100-41XF4 [46]

HiP, 100-41XF4	
Radni tlak (bar)	6895
Spajanje	¼ in.
Materijal	316 SS



Slika 8.2 Nepovratni ventil, 100-41XF4 [46]

Ulaz i izlaz hidrauličkog kruga, prema tablici 5.1, su 1/4" Swagelok konusne navojne veze srednjeg tlaka [13].

Nakon izlaska iz EHC-a, radni medij se miješa s ulaznom strujom te se potom odvodi iz sustava, ali prije odvođenja potrebno je izmjeriti tlak pomoću manometra s Bourdonovom cijevi, model 232.30 proizvođača WIKA [14] čije su osnovne značajke prikazane u tablici 8.3, a izgled na slici 8.3.

Tablica 8.3 Manometar s Bourdonovom cijevi [47]

WIKA, 232.30	
Mjerno područje (bar)	0 - 1600
Spajanje	¼ in. NPT, muški
Materijal	316 SS



Slika 8.3 Manometar s Bourdonovom cijevi [47]

Nakon manometra slijedi tlačni redukcijski ventil IPT serije koji se u slučaju prekoračenja tlaka otvara i ispušta fluid iz sustava, a kada tlak padne ispod maksimalno dopuštenoga ventil se zatvara [14, 48].

Tablica 8.4 Tlačni redukcijski ventil, RVSA6FK12NF10-20 [48]

Swagelok, RVSA6FK12NF10-20	
Raspon tlaka (bar)	689 - 1378
Spajanje ulaz/izlaz	3/8 MP FK cijevni priključak/ 3/4 in. NPT, ženski
Materijal	316 SS



Slika 8.4 Tlačni redukcijski ventil, RVSA6FK12NF10-20 [48]

9. CJEVOVODI

Anodnom ulazu i izlazu, katodnom izlazu, rashladnom krugu i hidrauličkom krugu potrebno je osigurati cijevi/crijeva za transport vodika od jedne do druge komponente sustava. S obzirom na različite tlakove pojedinih sustava, korištena su crijeva različitih značajki za tlakove koje moraju izdržati.

Kako u anodnom ulazu, izlazu i rashladnom krugu vladaju niži tlakovi, biraju se crijeva Swagelok serije FM, radnog tlaka do 213 bara [49]. Ovisno o potrebama duljine crijeva prilikom instalacije sustava, za ove sustave su dane tri mogućnosti izbora. Također je potrebno napomenuti da će za spajanje komponenti i crijeva biti potrebni adapteri.

Tablica 9.1 Swagelok crijeva serije FM

SS-FM4SL4PM4-12	
Spajanje ulaz/izlaz	¼ in. STF/¼ in. NPT, muški
Materijal	316L SS
Dužina (cm)	30,5
SS-FM8SL8SL8-18	
Spajanje ulaz/izlaz	½ in. STF/½ in. STF
Materijal	316L SS
Dužina (cm)	45,7
SS-FM4SL4PM4-36	
Spajanje ulaz/izlaz	¼ in. STF/¼ in. NPT, muški
Materijal	316L SS
Dužina (cm)	91,4

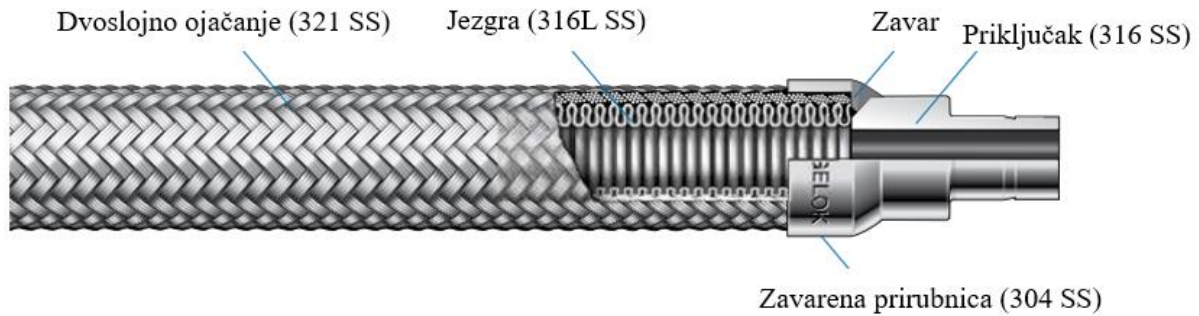


Slika 9.1 Swagelok crijevo serije FM

Za izlaz vodika pod tlakom, odnosno katodni izlaz, osiguravaju se Swagelokova visokotlačna crijeva serije FX, radnog tlaka do 413 bara [49]. Primjer crijeva prikazan je u tablici 10.2, a duljina se također može mijenjati ovisno o potrebi, kao i priključci, odnosno spojevi.

Tablica 9.2 Swagelok visokotlačno crijevo serije FX

SS-FX4SL4PM-50CM	
Spajanje ulaz/izlaz	¼ in. STF/ ¼ in. NPT, muški
Materijal	316 SS
Dužina (cm)	50

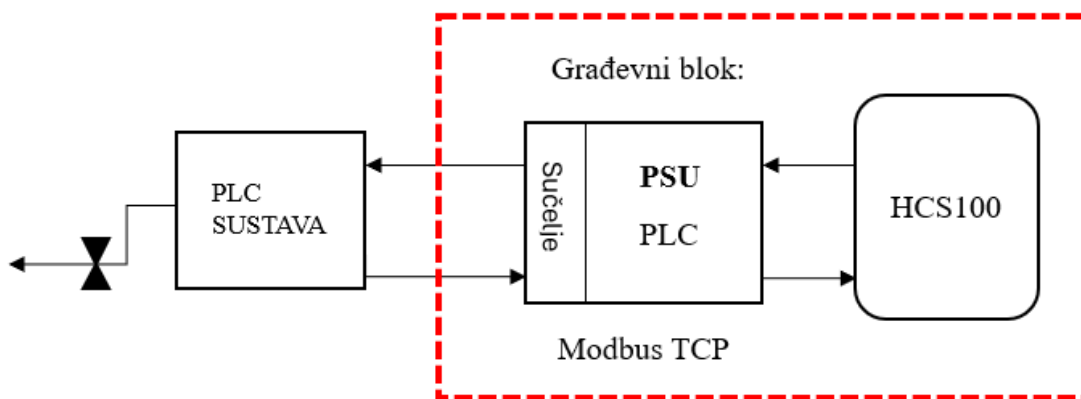
**Slika 9.2** Swagelok visokotlačno crijevo serije FX

Za hidraulički krug u kojemu su visoki tlakovi, preporučuju crijeva proizvođača Parker (npr. model 2448D-025V32-TC), temperaturnog radnog raspona od -10 °C do 70 °C. Materijal konstrukcije crijeva je termoplastika, pokrivena poliamidom (PA), dok je unutrašnja cijev crijeva izrađena od polioksimetilena (POM). Crijevo je ojačano a četiri spiralna sloja čelika maksimalne vlačne čvrstoće.

**Slika 9.3** Parker visokotlačno crijevo

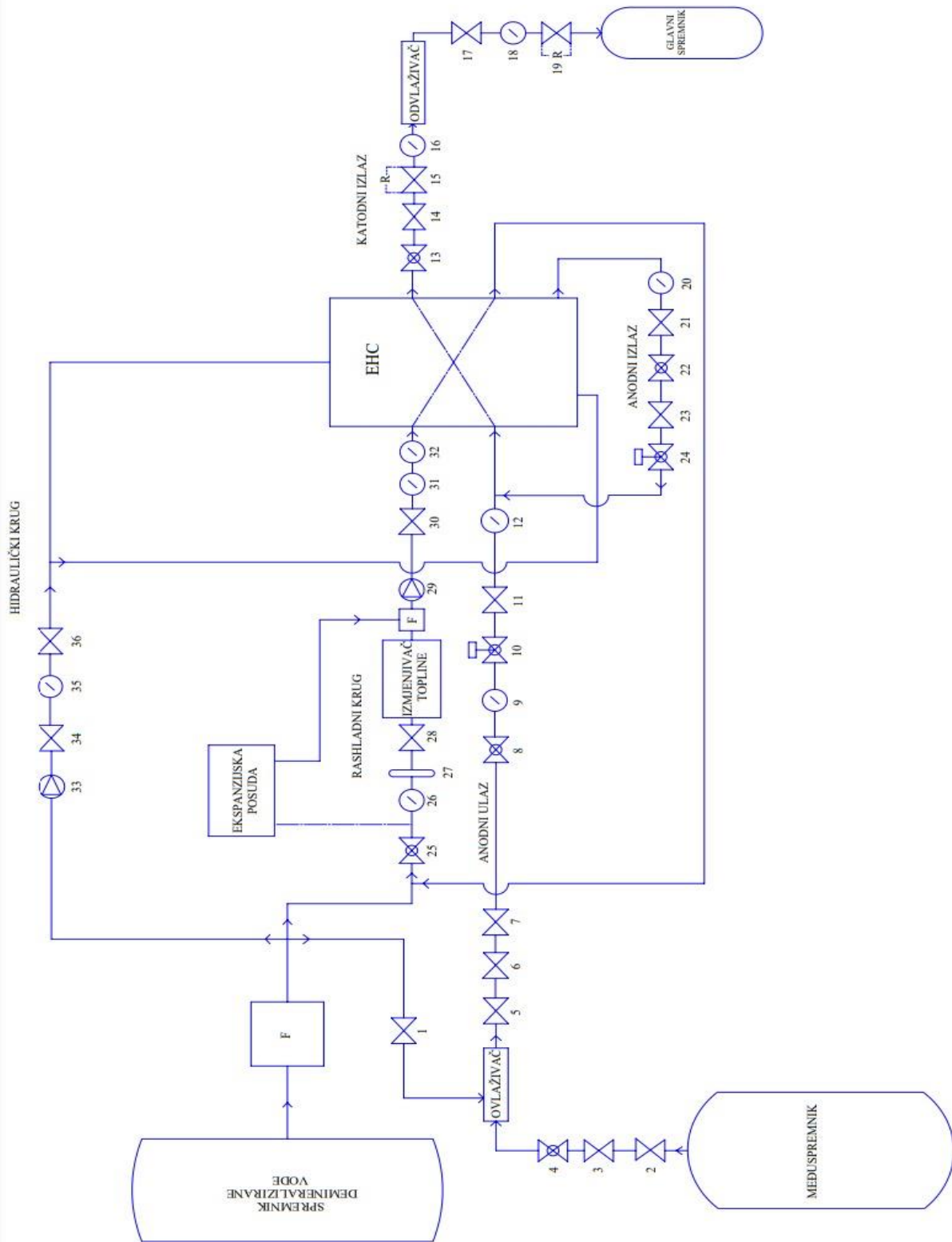
10. KONTROLNI SUSTAV

Glavna svrha građevnog bloka EHC sustava jest da svaku moguću rizičnu situaciju svede na minimum, a to čini pomoću isključivanja napajanja PSU-a unutarnjim relejem. Protok vodika kontrolira se pomoću PSU i CVM jedinica te ga je potrebno postaviti tako da se nominalni kapacitet i tlak pražnjenja postižu uz minimalnu potrošnju energije [13]. Shema kontrolnog sustava prikazana je na slici 9.1.



Slika 10.1 Shema kontrolnog sustava EHC-a [13]

Konceptualna shema spajanja sustava koji uključuje EHC i njegov prateći sustav prikazana je na slici 10.2.



Slika 10.2 Konceptualna shema spajanja EHC-a i njegovog pratećeg sustava

Nazivi komponenti konceptualne sheme navedeni su u tablici 10.2.

Tablica 10.2 Popis komponenti konceptualne sheme

Komponenta	Naziv
1	Nepovratni ventil
2	Ventil za regulaciju tlaka
3	Nepovratni ventil
4	Kuglasti ventil
5	Nepovratni ventil
6	Odstranjivač nečistoća
7	Ventil za smanjenje tlaka
8	Kuglasti ventil
9	Manometar
10	Kuglasti ventil s aktuatorom
11	Nepovratni ventil
12	Termometar
13	Kuglasti ventil
14	Nepovratni ventil
15	Regulator tlaka
16	Manometar
17	Sigurnosni ventil
18	Termometar
19	Regulator tlaka
20	Termometar
21	Sigurnosni ventil
22	Kuglasti ventil
23	Nepovratni ventil
24	Kuglasti ventil s aktuatorom
25	Kuglasti ventil
26	Termometar
27	Indikator protoka
28	Odzračni ventil
29	Centrifugalna pumpa
30	Tlačni regulator
31	Termometar
32	Manometar
33	Visokotlačna hidraulička pumpa
34	Nepovratni ventil
35	Manometar
36	Tlačni redukcijski ventil
F	Filter za vodu

11. ZAKLJUČAK

Kompresija vodika ključan je korak u proizvodnji vodika, a opisani EHC omogućava siguran i pouzdan proces. Za njegov rad potreban je cijeli niz popratnih komponenti koje uključuju ventile, regulatore, odstranjivače nečistoća, mjerne uređaje osjetnike, spremnike, pumpe, ovlaživač i odvlaživač.

U ovom radu izgrađen je prateći sustav EHC-a. Istraženi su i odabrani tržišno dostupni podsustavi s prikazom njihovih tehničkih specifikacija. Uz relativnu uspješnost izgradnje pratećeg sustava potrebno je imati na umu da je sama primjena EHC-a još uvijek relativno nova te da u ovom području ima još mnogo prostora za napredak, a odabir komponenti pratećeg sustava specifičan je za svaku pojedinu namjenu i zahtjeve. Prilikom instalacije sustava i naručivanja potrebnih komponenti instalateri i voditelji sustava trebaju detaljnije proučiti transportni dio sustava, odnosno crijeva.

Kao zaključak daljnjem rukovanju s EHC-om, pod naglaskom treba biti pridržavanje svih sigurnosnih mjera i koraka sadržanih u uputama dobavljača opreme, ali i katalozima i smjernicama pojedinih komponenti.

LITERATURA

- [1] Tarvydas D., The role of hydrogen in energy decarbonisation scenarios – Views on 2030 and 2050, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022
- [2]<https://www.greenh2world.com/green-hydrogen-india/green-energy/green-hydrogen-the-future-of-the-global-energy-transition> (16.02.2025.)
- [3] <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-processes> (7.01.2025.)
- [4]<https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/hydrogen-colour-spectrum> (7.01.2025.)
- [5] Zulfirdaus Zakaria, Siti Kartom Kamarudin, Mohd Nur Ikhmal Salehmin, Nor Naimah Rosyadah Ahmad, Muhammad Akmal Aminuddin, Iesti Hajar Hanapi, Siti Hasanah Osman, Ahmad Azmin Mohamad, *Energy scenario in Malaysia: Embarking on the potential use of hydrogen energy*, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 48, Issue 91, 2023.
- [6] A. Risco-Bravo, C. Varela, J. Bartels, E. Zondervan, From green hydrogen to electricity: A review on recent advances, challenges, and opportunities on power-to-hydrogen-to-power systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 189, Part A, 2024.
- [7] <https://hyfindr.com/en/hydrogen-knowledge/hydrogen-compressors> (6.01.2025.)
- [8]<https://siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/hydrogen-compressors.html> (6.01.2025.)
- [9] Doria Marciuš, Ankica Kovač, Mihajlo Firak, *Electrochemical hydrogen compressor: Recent progress and challenges*, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 47, Issue 57, 2022.
- [10] Mirna Išek, *Diplomski Rad*, Zagreb, 2023.
- [11] Caponetto, R.; Privitera, E.; Mirone, G.; Matera, F. Structural Analysis of Electrochemical Hydrogen Compressor End-Plates for High-Pressure Applications. *Energies* 2022, 15, 5823.
- [12] EHC, *Installation Manual*, 2020.
- [13] EHC, *Operation Manual*, 2022.
- [14] Tomislav Ivanković, Stela Perković, Shema spajanja EHC kompresora, Laboratorijski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2021./2022.

- [15] <https://sprayersupplies.com/vt0020-16-ace-roto-mold-a8789024> (15.02.2025.)
- [16] <https://pureaqua.com/industrial-stainless-tank-water-media-filter/> (14.02.2025.)
- [17] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-01-176.pdf> (16.02.2025.)
- [18] Ilijana Cvitanović, Lucija Čale, *Seminarski rad: Sustav za elektrokemijsko komprimiranje vodika*, Laboratorijski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2021.
- [19] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-02-430.pdf> (5.02.2025.)
- [20] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-02-345.pdf> (5.02.2025.)
- [21] Ovlaživač, Installation Manual, 2022.
- [22] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-01-92.pdf> (8.02.2025.)
- [23] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/EN/MS-02-230.PDF> (5.02.2025.)
- [24] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-02-484.pdf> (8.02.2025.)
- [25] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-02-163.pdf> (8.02.2025.)
- [26] <https://tameson.com/pages/solenoid-valve-types> (12.02.2025.)
- [27] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-02-331.pdf> (8.02.2025.)
- [28] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-02-343.pdf> (8.02.2025.)
- [29] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-02-353.pdf> (9.02.2025.)
- [30][31] https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-01-166.pdf?_gl=1*p9qvqc*_gcl_au*MTEyODAyOTgzNS4xNzM1OTg2MzI0*_ga*MTgzMTIyODkyOS4xNzM1OTg2MzE3*_ga_XBR6JNNC76*MTczOTcyODI4Mi4zMS4wLjE3Mzk3MjgyODIuNjAuMC4yMDA5Njg1ODg0 (16.02.2025.)
- [32] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-01-176.pdf> (9.02.2025.)
- [33] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-02-170.pdf> (13.02.2025.)
- [34] <https://www.sps-cart.net/Inventory/WXGKVZ/RSHN2-02-6-VVK-L> (16.02.2025.)
- [35] Odvlaživač, Installation manual, 2022.
- [36] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/MS-02-432.PDF> (9.02.2025.)

- [37] <https://www.cordivari.it/wp-content/uploads/2022/10/Cordivari-Technical-Sheet-OPEN-EXPANSION-VESSEL.pdf> (10.02.2025.)
- [38] <https://products.swagelok.com/en/c/straights/p/SS-16-TA-1-8> (13.02.2025.)
- [39] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/EN/MS-02-60.PDF> (16.02.2025.)
- [40] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-01-62.pdf> (10.02.2025.)
- [41] <https://www.hennlich.hr/proizvodi/izmjenjivaci-topline-8607.html> (16.02.2025.)
- [42] <https://products.swagelok.com/en/c/straights/p/SS-12-TA-7-12> (14.02.2025.)
- [43] <https://pureaqua.com/industrial-stainless-tank-water-media-filter/> (14.02.2025.)
- [44] https://www.pedrollo.com/wp-content/uploads/2024/05/CP-fino-a-11-kW_EN_50Hz.pdf (14.02.2025.)
- [45] <https://www.maximator.ae/products/high-pressure-pumps/m-series/#rental-units-overview1233-d8c39dad-9457> (10.02.2025.)
- [46] <https://www.highpressure.com/products/valves-fittings-tubing/ultra-high-pressure-valves-fittings-and-tubing/fittingscheck-valves/> (15.02.2025.)
- [47] https://www.wika.com/media/Data-sheets/Pressure/Pressure-gauges/ds_pm0204_en_co.pdf (15.01.2025.)
- [48] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-02-472.pdf> (15.02.2025.)
- [49] <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/ms-01-180.pdf> (19.02.2025.)
- [50] <https://ph.parker.com/gb/en/product/2448d-hose-series/2448d-025v32-tc> (19.02.2025.)