

Poglavlje 6.9

Poglavlje 6.9 Uvjeti za dizajn, konstrukciju, pregled i ispitivanje prenosivih spremnika s ljuskama od vlaknima ojačane plastike (FRP)

6.9.1 Primjena i osnovni zahtjevi

6.9.1.1 Zahtjevi iz odjeljka 6.9.2 primjenjuju se na prijenosne spremnike s FRP ljuskom namijenjene za prijevoz opasnih tvari klasa 1, 3, 5.1, 6.1, 6.2, 8 i 9 svim načinima prijevoza. Uz zahtjeve iz ovog poglavlja, osim ako nije drukčije navedeno, primjenjive zahtjeve Međunarodne konvencije o sigurnosti kontejnera (CSC) iz 1972., s izmjenama i dopunama, mora ispunjavati svaki multimodalni prijenosni spremnik s FRP ljuskom koji zadovoljava definiciju „kontejner” u smislu te konvencije.

6.9.1.2 Zahtjevi iz ovog poglavlja ne odnose se na prijenosne spremnike na moru.

6.9.1.3 Zahtjevi iz poglavlja 4.2 i odjeljka 6.7.2 primjenjuju se na ljuske prijenosnih spremnika od FRP-a osim onih koji se odnose na upotrebu metalnih materijala za konstrukciju ljuske prijenosnog spremnika i dodatne zahtjeve navedene u ovom poglavlju

6.9.1.4 Uvažavajući znanstveni i tehnološki napredak, tehnički zahtjevi iz ovog poglavlja mogu se zamijeniti alternativnim aranžmanima. Takvi alternativni aranžmani moraju nuditi razinu sigurnosti koja nije manja od one koju pružaju zahtjevi ovog poglavlja u pogledu kompatibilnosti s tvarima koje se prevoze i sposobnosti prijenosnog spremnika od FRP-a da izdrži udarce, opterećenje i uvjete požara. Za međunarodni prijevoz, alternativni aranžman za prijenosne spremnike od FRP-a odobravaju primjenjiva nadležna tijela.

6.9.2 Uvjeti za dizajn, konstrukciju, pregled i ispitivanje FRP prijenosnih spremnika

6.9.2.1 Definicije

Za potrebe ovog odjeljka, primjenjuju se definicije iz 6.7.2.1 osim definicija koje se odnose na metalne materijale („Sitnozrnati čelik”, „Meki čelik” i „Referentni čelik”) za konstrukciju ljuske prijenosnog spremnika.

Osim toga, sljedeće se definicije primjenjuju na prijenosne spremnike s FRP ljuskom: Vanjski sloj znači dio ljuske koji je izravno izložen atmosferskim uvjetima; Vlaknima ojačana plastika (FRP), vidi 1.2.1.

Namatanje niti znači postupak za konstruiranje FRP struktura u kojem se kontinuirana ojačanja (nit, traka ili drugo), bilo prethodno impregnirana materijalom matrice ili impregnirana tijekom namatanja, postavljaju preko rotirajućeg vretena. Općenito, oblik je površina rotacije i može uključivati krajeve (glave).

FRP ljuska znači zatvoreni dio cilindričnog oblika s unutarnjim volumenom namijenjen za prijevoz kemijskih tvari.

FRP spremnik znači prijenosni spremnik konstruiran s FRP ljuskom i krajevima (glavama), servisnom opremom, sigurnosnim uređajima za rasterećenje i drugom instaliranom opremom.

Temperatura staklenog prijelaza (T_g) znači karakterističnu vrijednost temperaturnog raspona u kojem se odvija stakleni prijelaz.

Ručno slaganje znači postupak za oblikovanje ojačane plastike u kojem se armatura i smola postavljaju na kalup.

Unutarnja obloga znači sloj na unutarnjoj površini FRP ljuske koji sprječava kontakt s opasnom tvari koja se prevozi.

Pokrivač znači vlaknasto ojačanje izrađeno od nasumičnih, nasjeckanih ili isprepletenih vlakana povezanih zajedno u obliku listova različitih duljina i debljina.

Paralelni uzorak ljuske znači FRP uzorak, koji mora biti reprezentativan za ljusku, konstruiran paralelno s konstrukcijom ljuske ako nije moguće koristiti izreske iz same ljuske. Paralelni uzorak ljuske može biti ravan ili zakrivljen.

Reprezentativni uzorak znači uzorak izrezan iz ljuske.

Infuzija smole je metoda konstrukcije FRP-a kojom se suha armatura postavlja u odgovarajući kalup, jednostrani kalup s vakuumskom vrećicom ili na drugi način, a tekuća smola dovodi se u taj dio pomoću vanjskog tlaka na ulazu i/ili primjenom potpunog ili djelomičnog vakuumskeg tlaka na otvoru.

Konstrukcijski sloj znači FRP slojevi ljuske potrebni za izdržavanje projektiranih opterećenja.

Zastor znači tanki sloj s visokom moći upijanja koji se koristi u slojevima FRP proizvoda gdje je potreban dodatni sadržaj frakcije polimerne matrice (ravnomjernost površine, kemijska otpornost, nepropusnost itd.).

6.9.2.2 Osnovni zahtjevi za konstrukciju i izradu

6.9.2.2.1 Zahtjevi iz 6.7.1 i 6.7.2.2 odnose se na FRP prijenosne spremnike. Za područja ljuske koja su izrađena od FRP-a, izuzeti su sljedeći zahtjevi iz poglavlja 6.7: 6.7.2.2.1, 6.7.2.2.9.1, 6.7.2.2.13 i 6.7.2.2.14. Ljuske moraju biti konstruirane i izrađene u skladu sa zahtjevima pravilnika o posudama pod tlakom, primjenjivima na FRP materijale, koje je priznalo nadležno tijelo.

Uz to, primjenjuju se i sljedeći zahtjevi.

6.9.2.2.2 Sustav kvalitete proizvođača

6.9.2.2.2.1 Sustav kvalitete mora sadržavati sve elemente, zahtjeve i odredbe koje je usvojio proizvođač. Mora biti dokumentiran na sustavan i uredan način u obliku pisanih politika, postupaka i uputa.

6.9.2.2.2.2 Njihov sadržaj posebno uključuje odgovarajuće opise:

- a) organizacijske strukture i odgovornosti osoblja u pogledu dizajna i kvalitete proizvoda
- b) tehnika kontrole dizajna i verifikacije dizajna, procesa i postupaka koji će se koristiti pri konstruiranju prijenosnih spremnika
- c) relevantnih uputa za proizvodnju, kontrolu kvalitete, osiguranje kvalitete i procesne operacije koje će se koristiti
- d) evidencija o kvaliteti, kao što su izvješća o pregledu, podatci o ispitivanju i podatci o umjeravanju
- e) revizije rukovodstva kako bi se osiguralo učinkovito funkcioniranje sustava kvalitete koji proizlazi iz audita na licu mjesta u skladu sa 6.9.2.2.4
- f) procesa koji opisuje kako se ispunjavaju zahtjevi klijenata
- g) proces za kontrolu dokumenata i njihovu reviziju
- h) sredstava za kontrolu nesukladnih prijenosnih spremnika, kupljenih komponenti, materijala u procesu i konačnih materijala
- i) programi osposobljavanja i kvalifikacijski postupci za relevantno osoblje.

6.9.2.2.2.3 U okviru sustava kvalitete moraju biti ispunjeni sljedeći minimalni zahtjevi za svaki proizvedeni FRP prijenosni spremnik:

- a) korištenje plana pregleda i ispitivanja (ITP)
- b) vizualni pregledi
- c) provjera orijentacije vlakana i masenog udjela pomoću dokumentiranog procesa kontrole
- d) provjera kvalitete i karakteristika vlakana i smola putem certifikata ili druge dokumentacije
- e) provjera kvalitete i karakteristika unutarnjih obloga putem certifikata ili druge dokumentacije
- f) provjera bilo koje primjenjive karakteristike oblikovane termoplastične smole ili stupnja stvrdnjavanja duroplastične smole izravnim ili neizravnim sredstvima (npr. Barcol testom ili

diferencijalno skenirajućom kalorimetrijom) o kojima se odlučuje u skladu sa 6.9.2.7.1.2 (h), ili ispitivanjem puzanja reprezentativnog uzorka ili paralelnog uzorka ljuske u skladu sa 6.9.2.7.1.2 (e) tijekom razdoblja od 100 sati

- g) dokumentacija o onome što je primjenjivo za postupke oblikovanja termoplastične smole ili procese stvrdnjavanja termoreaktivne smole i procese nakon stvrdnjavanja
- h) čuvanje i arhiviranje uzoraka ljuske za buduće preglede i provjere ljuske (npr. iz izreska okna) tijekom razdoblja od 5 godina.

6.9.2.2.4 Revizija sustava kvalitete

Sustav kvalitete mora se prvo ocijeniti kako bi se utvrdilo ispunjava li zahtjeve iz 6.9.2.2.2.1 do 6.9.2.2.2.3 na zadovoljstvo nadležnog tijela.

Proizvođač će biti obaviješten o rezultatima revizije. Obavijest mora sadržavati zaključke revizije i sve potrebne korektivne radnje.

Provode se periodične revizije, na zadovoljstvo nadležnog tijela, kako bi se osiguralo da proizvođač održava i primjenjuje sustav kvalitete. Izvješća o periodičnim revizijama dostavljaju se proizvođaču.

6.9.2.2.5 Održavanje sustava kvalitete

Proizvođač mora održavati odobreni sustav kvalitete kako bi bio adekvatan i učinkovit.

Proizvođač mora obavijestiti nadležno tijelo koje je odobrilo sustav kvalitete o svim namjeravanim izmjenama. Predložene izmjene ocjenjuju se kako bi se utvrdilo hoće li izmijenjeni sustav kvalitete i dalje zadovoljavati zahtjeve iz 6.9.2.2.2.1 do 6.9.2.2.2.3.

6.9.2.2.3 FRP ljuske

6.9.2.2.3.1 FRP ljuske moraju biti čvrsto povezane sa strukturnim elementima okvira prijenosnog spremnika. Nosači i priključci na okviru FRP ljuske ne smiju uzrokovati lokalne koncentracije naprezanja koje su veće od dopuštenih za konstrukciju ljuske u skladu s odredbama navedenim u ovom poglavlju za sve radne i ispitne uvjete.

6.9.2.2.3.2 Ljuske moraju biti izrađene od prikladnih materijala koji mogu raditi unutar minimalnog projektiranog temperaturnog raspona od -40 °C do +50 °C, osim ako temperaturni rasponi nisu navedeni za posebne teže klimatske ili radne uvjete (npr. grijaći elementi) od nadležnog tijela države u kojoj se prijevoz obavlja.

6.9.2.2.3.3 Ako je ugrađen sustav grijanja, mora biti u skladu sa 6.7.2.5.12 do 6.7.2.5.15 i sa sljedećim zahtjevima:

- a) Maksimalna radna temperatura grijaćih elemenata ugrađenih u ljusku ili povezanih s njom ne smije biti veća od najveće projektirane temperature spremnika.
- b) Grijaći elementi moraju biti projektirani, kontrolirani i korišteni tako da temperatura tvari koja se prevozi ne može prijeći maksimalnu projektiranu temperaturu spremnika ili vrijednost pri kojoj unutarnji tlak prelazi MAWP.
- c) Strukture spremnika i njegovih grijaćih elemenata moraju omogućiti ispitivanje ljuske u odnosu na moguće učinke pregrijavanja.

6.9.2.2.3.4 Ljuske se sastoje od sljedećih elemenata:

-unutarnja obloga

-konstrukcijski sloj

-vanjski sloj.

NAPOMENA: Elementi se mogu kombinirati ako su zadovoljeni svi primjenjivi funkcionalni kriteriji.

6.9.2.2.3.5 Unutarnja obloga unutarnji je element ljuske predviđen kao primarna barijera koja osigurava dugotrajnu kemijsku otpornost u odnosu na tvari koje se prevoze kako bi se spriječila bilo kakva opasna reakcija sa sadržajem ili stvaranje opasnih spojeva i eventualno značajno slabljenje konstrukcijskog sloja zbog difuzije proizvoda kroz unutarnju oblogu. Kemijska kompatibilnost mora se provjeriti u skladu sa 6.9.2.7.1.3.

Unutarnja obloga može biti FRP obloga ili termoplastična obloga.

6.9.2.2.3.6 **FRP obloge sastoje se od sljedećih dvaju sastavnih dijelova:**

- a) Površinski sloj („gel-premaz“): površinski sloj bogat smolama, ojačan zastorom, kompatibilan sa smolama i sadržajem. Ovaj sloj ima maseni udio vlakana od 30 % i njegova je minimalna debljina 0,25, a maksimalna debljina 0,60 mm.
- b) Sloj(evi) za ojačavanje: sloj ili više slojeva minimalne debljine od 2 mm, koji sadrže najmanje 900 g/m² staklenoga pokrivača ili sjeckanih vlakana, gdje maseni udio stakla nije manji od 30 %, osim ako je ekvivalentna sigurnost pokazana za niži udio stakla.

- 6.9.2.2.3.7** Ako se obloga sastoji od termoplastičnih listova, oni moraju biti zavareni zajedno u traženom obliku, uz korištenje kvalificiranog postupka zavarivanja i osoblja. Zavarene obloge moraju imati sloj elektrovodljivog medija postavljen na netekuću kontaktnu površinu zavara kako bi se olakšalo ispitivanje iskrenjem. Trajno spajanje unutarnjih obloga i konstrukcijskog sloja mora se postići korištenjem odgovarajuće metode.
- 6.9.2.2.3.8** Konstrukcijski sloj mora biti projektiran da izdrži projektirana opterećenja u skladu sa 6.7.2.2.12, 6.9.2.2.3.1, 6.9.2.3.2, 6.9.2.3.4 i 6.9.2.3.6.
- 6.9.2.2.3.9** Vanjski sloj smole ili boje mora osigurati odgovarajuću zaštitu konstrukcijskih slojeva spremnika od izlaganja utjecajima okoliša i rada, uključujući UV zračenje i slanu maglu, te povremeno izlaganje tereta prskanju.
- 6.9.2.2.3.10 Smole**
- Obrada mješavine smole mora se provesti u skladu s preporukama dobavljača. Smole mogu biti:
 - nezasićene poliesterske smole
 - vinil esterske smole
 - epoksidne smole
 - fenolne smole
 - termoplastične smole.
- Temperatura toplinske distorzije smole (HDT), određena u skladu sa 6.9.2.7.1.1, mora biti najmanje 20 °C viša od najveće projektirane temperature ljske kako je definirano u 6.9.2.2.3.2, ali ni u kojem slučaju ne smije biti niža od 70 °C.
- 6.9.2.2.3.11 Materijal za ojačanje**
- Materijal za ojačanje konstrukcijskih slojeva treba odabrati tako da zadovoljava zahtjeve konstrukcijskog sloja.
- Za staklena vlakna unutarnje obloge upotrebljava se najmanje tip C ili ECR prema ISO 2078:1993 + Amd 1:2015. Termoplastični zastori smiju se koristiti za unutarnju oblogu samo ako je dokazana njihova kompatibilnost s predviđenim sadržajem
- 6.9.2.2.3.12 Aditivi**
- Aditivi potrebni za obradu smole, kao što su katalizatori, ubrzivači, učvršćivači i tiksotropne tvari, kao i materijali koji se koriste za poboljšanje spremnika, kao što su punila, boje, pigmenti itd., ne smiju uzrokovati slabljenje materijala, uzimajući u obzir vijek trajanja i očekivanu temperaturu konstrukcije.
- 6.9.2.2.3.13** FRP ljske, njihovi priključci i njihova servisna i konstrukcijska oprema moraju biti projektirani da izdrže opterećenja navedena u 6.7.2.2.12, 6.9.2.2.3, 6.9.2.3.2, 6.9.2.3.4 i 6.9.2.3.6 bez gubitka sadržaja (osim količine plina koji izlazi kroz otvore za degazaciju) tijekom projektiranog vijeka trajanja.
- 6.9.2.2.3.14** Posebni uvjeti za prijevoz tvari čije plamište nije iznad 60 °C.
- 6.9.2.2.3.14.1** FRP spremnici koji se koriste za prijevoz zapaljivih tekućina čije je plamište najviše 60 °C moraju biti konstruirani tako da osiguraju uklanjanje statičkog elektriciteta iz različitih sastavnih dijelova kako bi se izbjeglo nakupljanje opasnih naboja.
- 6.9.2.2.3.14.2** Površinski električni otpor unutarnje i vanjske strane ljske utvrđen mjerenjima ne smije biti veći od $10^9 \Omega$. To se može postići upotrebom aditiva u smoli ili međuslojnim vodljivim listovima, poput metalne ili ugljične mreže.
- 6.9.2.2.3.14.3** Otpor pri uzemljivanju, kako je utvrđen mjerenjima, ne smije biti iznad $10^7 \Omega$

- 6.9.2.2.3.14.4** Svi sastavni dijelovi ljuske moraju biti električno povezani jedni s drugima i s metalnim dijelovima servisne i konstrukcijske opreme spremnika. Električni otpor između sastavnih dijelova i opreme u međusobnom doticaju ne smije biti veći od 10 Ω.
- 6.9.2.2.3.14.5** Površinski električni otpor i otpor pri uzemljivanju moraju se prvo izmjeriti na svakom proizvedenom spremniku ili uzorku ljuske u skladu s postupkom koji je priznalo nadležno tijelo. U slučaju oštećenja ljuske koje zahtijeva popravak, potrebno je ponovno izmjeriti električni otpor.
- 6.9.2.2.3.15** Spremnik mora biti projektiran tako da bez značajnog istjecanja izdrži učinke potpune pokrivenosti plamenom tijekom 30 minuta kako je određeno zahtjevima ispitivanja u 6.9.2.7.1.5. Od ispitivanja se može odustati uz suglasnost nadležnog tijela, ako se ispitivanjem usporedivih konstrukcija spremnika može osigurati dovoljan dokaz.
- 6.9.2.2.3.16** Proces konstrukcije za FRP ljuske
- 6.9.2.2.3.16.1** Namatanje niti, ručno slaganje, ulijevanje smole ili drugi odgovarajući postupci proizvodnje kompozita upotrebljavaju se za izradu FRP ljuski.
- 6.9.2.2.3.16.2** Težina vlaknastih ojačanja mora odgovarati onoj navedenoj u specifikaciji postupka s tolerancijom od +10 % i –0 %. Jedna ili više vrsta vlakana navedenih u 6.9.2.2.3.11 i u specifikaciji postupka koristi se za ojačanje ljuski.
- 6.9.2.2.3.16.3** Sustav smole mora biti jedan od sustava smole navedenih u 6.9.2.2.3.10. Ne smiju se koristiti punila, pigmenti ili bojila koji bi promijenili prirodnu boju smole, osim ako to dopušta specifikacija postupka.
- 6.9.2.3** **Kriteriji dizajna**
- 6.9.2.3.1** FRP ljuske moraju biti projektirane tako da se može matematički ili eksperimentalno analizirati pomoću mjeraca deformacije otpora ili drugih metoda koje je odobrilo nadležno tijelo.
- 6.9.2.3.2** FRP ljuske moraju biti projektirane i izrađene da izdrže ispitni tlak. Posebne odredbe utvrđene su za određene tvari u primjenjivim uputama za prijenosne spremnike navedene u stupcu (10) tablice A poglavlja 3.2 i opisane u 4.2.5 ili posebnom odredbom za prijenosne spremnike navedene u stupcu (11) tablice A poglavlja 3.2 i opisane u 4.2.5.3. Minimalna debljina stijenke FRP ljuske ne smije biti manja od one navedene u 6.9.2.4.
- 6.9.2.3.3** Pri navedenom ispitnom tlaku maksimalna vlačna relativna deformacija izmjerena u mm/mm u ljusci ne smije rezultirati stvaranjem mikropukotina i stoga ne smije biti veća od prve izmjerene točke loma ili oštećenja smole zbog istezanja izmjerene tijekom ispitivanja vlačne čvrstoće propisanih u 6.9.2.7.1.2 (c).
- 6.9.2.3.4** Za unutarnji ispitni tlak, vanjski proračunski tlak naveden u 6.7.2.2.10, statička opterećenja navedena u 6.7.2.2.12 i statička gravitacijska opterećenja uzrokovana sadržajem s maksimalnom gustoćom navedenom za konstrukciju i pri najvećem stupnju punjenja, kriteriji kvara (FC) u uzdužnom smjeru, obodnom smjeru i bilo kojem drugom smjeru u ravni kompozitnog sloja ne smije prekoračiti sljedeću vrijednost:

$$FC \leq \frac{1}{K}$$

gdje je:

$K = K_0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5$

pri čemu:

K ima minimalnu vrijednost 4

K₀ je faktor čvrstoće. Za općenitu konstrukciju vrijednost za K₀ mora biti jednaka ili veća od 1,5. Vrijednost K₀ množi se s faktorom dva, osim ako je ljuska opremljena zaštitom od oštećenja koja se sastoji od potpunog metalnog kostura uključujući uzdužne i poprečne konstrukcijske elemente.

K₁ je faktor povezan s habanjem materijala zbog puzanja i starenja. Određuje se formulom:

$$K1 = \frac{1}{\alpha\beta}$$

gdje je α faktor puzanja, a β faktor starenja određen u skladu sa 6.9.2.7.1.2 (e), odnosno (f). Kada se koriste u izračunu, faktori α i β moraju biti između 0 i 1.

Alternativno, konzervativna vrijednost $K1 = 2$ može se primijeniti u svrhu numeričke validacije iz 6.9.2.3.4 (ovo ne otklanja potrebu za provođenjem ispitivanja za određivanje α i β).

$K2$ je faktor koji se odnosi na radnu temperaturu i toplinska svojstva smole, određen sljedećom jednačicom, s minimalnom vrijednošću 1:

$$K2 = 1,25 - 0,0125 (HDT - 70)$$

gdje je HDT temperatura toplinske distorzije smole u °C.

$K3$ je faktor koji se odnosi na zamor materijala; koristi se vrijednost $K3 = 1,75$ osim ako nije drukčije dogovoreno s nadležnim tijelom. Za dinamičku konstrukciju u skladu sa 6.7.2.2.12 koristi se vrijednost $K3 = 1,1$.

$K4$ je faktor koji se odnosi na stvrdnjavanje smole i ima sljedeće vrijednosti:

1,0 gdje se stvrdnjavanje provodi u skladu s odobrenim i dokumentiranim postupkom, a sustav kvalitete opisan pod 6.9.2.2.2 uključuje provjeru stupnja stvrdnjavanja za svaki FRP prijenosni spremnik korištenjem pristupa izravnog mjerenja, kao što je diferencijalno skenirajuća kalorimetrija (DSC) utvrđenim putem ISO 11357-2:2016, prema 6.9.2.7.1.2 (h)

1,1 gdje se oblikovanje termoplastične smole ili stvrdnjavanje termoplastične smole provodi u skladu s odobrenim i dokumentiranim postupkom, a sustav kvalitete opisan pod 6.9.2.2.2 uključuje provjeru primjenjivih karakteristika oblikovane termoplastične smole ili stupnja stvrdnjavanja termoplastične smole, za svaki FRP prijenosni spremnik korištenjem pristupa neizravnog mjerenja u skladu sa 6.9.2.7.1.2 (h), kao što je Barcol ispitivanje iz ASTM D2583:2013-03 ili EN 59:2016, HDT iz ISO 75-1:2013, termomehanička analiza (TMA) iz ISO 11359-1:2014 ili dinamička termomehanička analiza (DMA) iz ISO 6721-11:2019

1,5 u drugim slučajevima.

$K5$ je faktor koji se odnosi na upute za prijenosne spremnike u 4.2.5.2.6:

1,0 za T 1 do T 19

1,33 za T 20

1,67 za T 21 do T 22.

Potrebno je provesti vježbu validacije konstrukcije pomoću numeričke analize i odgovarajućeg kriterija za lom kompozitnog materijala kako bi se potvrdilo da su naprezanja u slojevima u ljusci ispod dopuštenih vrijednosti. Prikadni kriteriji loma kompozita uključuju, ali nisu ograničeni na, Tsai-Wu, Tsai-Hill, Hashin, Yamada-Sun, teoriju loma kod nepromjenjivog naprezanja, maksimalnu deformaciju ili maksimalno naprezanje. Drugi odnosi za kriterije čvrstoće dopušteni su uz dogovor s nadležnim tijelom. Metodu i rezultate ove vježbe validacije konstrukcije potrebno je dostaviti nadležnom tijelu.

Dopuštene vrijednosti određuju se korištenjem pokusa za izvođenje parametara koje zahtijevaju odabrani kriteriji loma u kombinaciji s faktorom sigurnosti K , vrijednostima čvrstoće izmjerenim prema 6.9.2.7.1.2 (c) i kriterijima maksimalne deformacije istezanjem propisanim u 6.9.2.3.5. Analizu spojeva potrebno je provesti u skladu s dopuštenim vrijednostima određenima u 6.9.2.3.7 i vrijednostima čvrstoće izmjerenima prema 6.9.2.7.1.2 (g). Izvijanje treba razmotriti u skladu sa 6.9.2.3.6. Konstrukciju otvora i metalnih umetaka treba razmotriti u skladu sa 6.9.2.3.8.

6.9.2.3.5

Pri bilo kojem od naprezanja u skladu sa 6.7.2.2.12 i 6.9.2.3.4, rezultirajuće istezanje u bilo kojem smjeru ne smije prekoračiti vrijednost navedenu u sljedećoj tablici ili jednu desetinu istezanja pri lomu smole utvrđenog u ISO 527-2:2012, ovisno o tome koja je vrijednost manja.

Primjeri poznatih granica prikazani su u tablici niže.

Vrsta smole	Maksimalna deformacija kod napetosti (%)
Nezasićena poliesterska ili fenolska	0,2
Vinil esterska	0,25
Epoksidna	0,3
Termoplastična	Vidi 6.9.2.3.3

6.9.2.3.6 Za vanjski proračunski tlak minimalni faktor sigurnosti za analizu linearnog izvijanja ljuske mora biti kako je definirano u primjenjivom pravilniku za posude pod tlakom, ali ne manji od tri.

6.9.2.3.7 Ljepljive linije spajanja i/ili preklapne laminacije koje se koriste u spojevima, uključujući krajnje spojeve, spoj između opreme i ljuske, spojeve izbojnih ploča i pregrada s ljuskom moraju moći izdržati opterećenja iz 6.7.2.2.12, 6.9.2.2.3.1, 6.9.2.3.2, 6.9.2.3.4 i 6.9.2.3.6. Kako bi se izbjegle koncentracije naprezanja u preklapnoj laminaciji, primijenjeni konus ne smije biti strmiji od 1 : 6.

Smična čvrstoća između preklapne laminacije i komponenti spremnika na koje je zalijepljena ne smije biti manja od:

$$\tau = \gamma \frac{Q}{l} \leq \frac{\tau R}{K}$$

gdje je:

τR interlaminarna smična čvrstoća u skladu s ISO 14130:1997 i Cor 1:2003;

Q je opterećenje po jedinici širine međuspoja; K je faktor sigurnosti određen prema 6.9.2.3.4; l je duljina preklapne laminacije;

γ je faktor usjeka koji povezuje prosječno naprezanje spoja s vršnim naprezanjem spoja na mjestu početka loma.

Ostale metode proračuna za spojeve dopuštene su uz odobrenje nadležnog tijela.

6.9.2.3.8 Metalne priрубnice i njihovi zatvarači dopušteni su za upotrebu u FRP ljuskama, u skladu s konstrukcijskim zahtjevima iz 6.7.2. Otvori u FRP ljusci moraju biti ojačani kako bi se osigurali barem isti faktori sigurnosti protiv statičkih i dinamičkih naprezanja kao što je navedeno u 6.7.2.2.12, 6.9.2.3.2, 6.9.2.3.4 i 6.9.2.3.6 poput onih za samu ljusku. Broj otvora treba smanjiti na najmanju moguću mjeru. Omjer osi otvora ovalnog oblika ne smije biti veći od 2.

Ako su metalne priрубnice ili komponente ugrađene u FRP ljusku pomoću lijepljenja, tada će se metoda karakterizacije navedena u 6.9.2.3.7 primijeniti na spoj između metala i FRP-a. Ako su metalne priрубnice ili komponente pričvršćene na neki drugi način, npr. navojni spojevi, primjenjuju se odgovarajuće odredbe primjenjive norme za posude pod tlakom.

6.9.2.3.9 Provjera proračuna čvrstoće ljuske izvodi se metodom konačnih elemenata simulirajući slaganje ljuske, spojeve unutar FRP ljuske, spojeve između FRP ljuske i okvira kontejnera i otvore. Obrada singularnosti mora se obaviti odgovarajućom metodom u skladu s važećim pravilnikom za posude pod tlakom.

6.9.2.4 Minimalna debljina stijenke ljuske

6.9.2.4.1 Minimalna debljina FRP ljuske mora se potvrditi provjerom proračuna čvrstoće ljuske uzimajući u obzir zahtjeve čvrstoće navedene u 6.9.2.3.4.

6.9.2.4.2 Minimalna debljina strukturnih slojeva FRP ljuske mora se odrediti u skladu sa 6.9.2.3.4, međutim, u svakom slučaju minimalna debljina strukturnih slojeva mora biti najmanje 3 mm.

6.9.2.5 Komponente opreme za prenosive spremnike s FRP ljuskom

Servisna oprema, otvori na dnu, uređaji za rasterećenje tlaka, uređaji za mjerenje, nosači, okviri, priključci za podizanje i pričvršćivanje prijenosnih spremnika moraju ispunjavati zahtjeve 6.7.2.5 do 6.7.2.17. Ako je potrebno ugraditi bilo koje druge metalne značajke u FRP ljusku, primjenjuju se odredbe 6.9.2.3.8.

6.9.2.6 Odobrenje konstrukcije

- 6.9.2.6.1** Odobrenje konstrukcije FRP prijenosnih spremnika mora biti u skladu sa zahtjevima iz 6.7.2.18. Sljedeći dodatni zahtjevi odnose se na FRP prijenosne spremnike.
- 6.9.2.6.2** Izvješće o ispitivanju prototipa u svrhu odobrenja projekta dodatno uključuje sljedeće:
- a) Rezultati ispitivanja materijala korištenih za izradu FRP ljuske u skladu sa zahtjevima iz 6.9.2.7.1.
 - b) Rezultati ispitivanja ispuštanjem kugle u skladu sa zahtjevima iz 6.9.2.7.1.4.
 - c) Rezultati ispitivanja otpornosti na požar u skladu s odredbama 6.9.2.7.1.5.
- 6.9.2.6.3** Potrebno je uspostaviti program provjere vijeka trajanja, koji će biti dio priručnika za rad, za praćenje stanja spremnika pri periodičnim pregledima. Program pregleda usredotočit će se na mjesta kritičnih naprezanja identificirana u analizi konstrukcije provedenoj u skladu sa 6.9.2.3.4. Metoda pregleda mora uzeti u obzir mogući način oštećenja na mjestu kritičnog naprezanja (npr. vlačno naprezanje ili interlaminarno naprezanje). Pregled mora biti kombinacija vizualnog i nerazornog ispitivanja (npr. akustične emisije, ultrazvučna procjena, termografija). Za grijaće elemente, program provjere vijeka trajanja mora omogućiti pregled ljuske ili reprezentativnih mjesta kako bi se uzeli u obzir učinci pregrijavanja.
- 6.9.2.6.4** Reprezentativni prototip spremnika podvrgava se ispitivanjima kako je navedeno u nastavku. U tu se svrhu servisna oprema može zamijeniti drugim predmetima ako je potrebno.
- 6.9.2.6.4.1** Prototip će biti pregledan radi utvrđivanja sukladnosti sa specifikacijom tipa konstrukcije. To uključuje unutarnji i vanjski pregled i mjerenje glavnih dimenzija.
- 6.9.2.6.4.2** Prototip opremljen mjerачima naprezanja na svim mjestima visokog naprezanja, koja su utvrđena vježbom validacije konstrukcije u skladu sa 6.9.2.3.4, izlaže se sljedećim opterećenjima i bilježi se naprezanje:
- a) Napunjen vodom do maksimalne razine punjenja. Rezultati mjerenja moraju se koristiti za umjeravanje proračuna konstrukcije u skladu sa 6.9.2.3.4.
 - b) Napunjen vodom do maksimalne razine punjenja i izložen statičkim opterećenjima u svim trima smjerovima montiran na bazne kutne odljevke bez dodatne mase nanosene izvana na ljusku. Za usporedbu s izračunom konstrukcije u skladu sa 6.9.2.3.4, zabilježene deformacije moraju se ekstrapolirati u odnosu na kvocijent ubrzanja koji se zahtijeva u 6.7.2.2.12 i izmjeriti.
 - c) Napunjen vodom i podvrgnut navedenom ispitnom tlaku. Ljuska pod tim opterećenjem ne smije pokazivati nikakva vizualna oštećenja ili curenje.
- Naprezanje koje odgovara izmjerenoj razini deformacije ne smije premašiti minimalni faktor sigurnosti izračunan u 6.9.2.3.4 pod bilo kojim od ovih uvjeta opterećenja.
- 6.9.2.7** **Dodatne odredbe koje se primjenjuju na FRP prenosive spremnike**
- 6.9.2.7.1** **Ispitivanje materijala**
- 6.9.2.7.1.1** **Smole**
- Vlačno istezanje smole određuje se u skladu s ISO 527-2:2012. Temperatura toplinske distorzije (HDT) smole određuje se u skladu s ISO 75-1:2013.
- 6.9.2.7.1.2** **Uzorci ljuske**
- Prije ispitivanja s uzoraka se moraju ukloniti svi premazi. Ako uzorke ljuske nije moguće dobiti, mogu se koristiti paralelni uzorci ljuske. Ispitivanja obuhvaćaju sljedeće:
- a) debljina slojeva središnje stijenke i krajeva ljuske
 - b) udio mase i sastav kompozitne armature prema ISO 1172:1996 ili ISO 14127:2008 te orijentacija i raspored slojeva armature
 - c) vlačna čvrstoća, istezanje pri lomu i modul elastičnosti prema ISO 527-4:1997 ili ISO 527-5:2009 za obodni i uzdužni smjer ljuske. Za područja FRP ljuske, ispitivanja se provode na reprezentativnim laminacijama u skladu s ISO 527-4:1997 ili ISO 527-5:2009 kako bi se

omogućila procjena prikladnosti faktora sigurnosti (K). Mora se koristiti najmanje šest uzoraka po mjeri vlačne čvrstoće, a vlačna čvrstoća uzima se kao prosjek minus dva standardna odstupanja.

- d) Savijanje i čvrstoća utvrđeni ispitivanjem savijanja u trima ili četirima točkama u skladu s ISO 14125:1998 + Amd 1:2011 korištenjem uzorka s minimalnom širinom od 50 mm i razmakom nosača od najmanje 20 puta debljine stijenke. Potrebno je najmanje pet uzoraka.
- e) Faktor puzanja α određen uzimanjem prosječnog rezultata za najmanje dva uzorka konfiguracije opisane u (d), podvrgnutih puzanju pri savijanju u trima ili četirima točkama, pri najvišoj projektiranoj temperaturi navedenoj u 6.9.2.2. 3.2, u trajanju od 1000 sati. Sljedeće ispitivanje provodi se za svaki uzorak:
 - i. Neopterećeni uzorak postavlja se u aparat za savijanje u pećnicu postavljenu na maksimalnu projektiranu temperaturu i ostavlja da se aklimatizira tijekom najmanje 60 minuta.
 - ii. Savijanje uzorka mora biti u skladu s ISO 14125:1998 + Amd 1:2011 pri naprezanju na savijanje jednakom čvrstoći određenoj u (d) podijeljenoj s četiri. Održavati mehaničko opterećenje na maksimalnoj projektiranoj temperaturi bez prekida najmanje 1000 sati.
 - iii. Izmjeriti početni otklon šest minuta nakon primjene punog opterećenja iz (e) (ii). Uzorak mora ostati pod opterećenjem u ispitnoj opremi.
 - iv. Izmjeriti konačni otklon 1000 sati nakon primjene punog opterećenja iz (e) (ii).
 - v. Izračunati faktor puzanja α dijeljenjem početnog otklona iz (e) (iii) s konačnim otklonom iz (e) (iv).
- f) Faktor starenja β određen uzimanjem prosječnog rezultata najmanje dvaju uzoraka konfiguracije opisane u (d), podvrgnutih opterećenju u statičkom savijanju u trima ili četirima točkama, u kombinaciji s uranjanjem u vodu pri maksimalnoj projektiranoj temperaturi navedenoj u 6.9.2.2.3.2 tijekom 1000 sati. Sljedeće ispitivanje provodi se za svaki uzorak:
 - i. Prije ispitivanja ili kondicioniranja, uzorci se suše u pećnici na 80 °C tijekom 24 sata.
 - ii. Uzorak se opterećuje savijanjem u trima ili četirima točkama na sobnoj temperaturi, u skladu s ISO 14125:1998 + Amd 1:2011, pri naprezanju na savijanje jednakom čvrstoći određenoj u (d) podijeljenoj s četiri. Izmjeriti početni otklon šest minuta nakon primjene punog opterećenja. Ukloniti uzorak iz ispitne opreme.
 - iii. Uroniti neopterećeni uzorak u vodu na najvišoj projektiranoj temperaturi tijekom najmanje 1000 sati bez prekida u razdoblju kondicioniranja vodom. Nakon isteka razdoblja kondicioniranja, izvaditi uzorke, držati ih vlažnima na sobnoj temperaturi i dovršiti (f) (iv) unutar tri dana.
 - iv. Uzorak mora biti podvrgnut drugom krugu statičkog opterećenja na način identičan onom u (f) (ii). Izmjeriti konačni otklon šest minuta nakon primjene punog opterećenja. Ukloniti uzorak iz ispitne opreme.
 - v. Izračunati faktor starenja β dijeljenjem početnog otklona iz (f) (ii) s konačnim otklonom iz (f) (iv).
- g) Interlaminarna smična čvrstoća spojeva izmjerena ispitivanjem reprezentativnih uzoraka u skladu s ISO 14130:1997.
- h) Učinkovitost bilo koje od primjenjivih karakteristika oblikovanja termoplastične smole ili postupaka stvrdnjavanja duroplastične smole i naknadnog stvrdnjavanja za laminacije utvrđuje se pomoću jedne ili više od sljedećih metoda:
 - i. izravno mjerenje karakteristika oblikovane termoplastične smole ili stupnja stvrdnjavanja duroplastične smole: temperatura staklenog prijelaza (Tg) ili temperatura taljenja (Tm) određena pomoću diferencijalno skenirajuće kalorimetrije (DSC) iz ISO 11357-2:2016; ili
 - ii. neizravno mjerenje karakteristika oblikovane termoplastične smole ili stupnja stvrdnjavanja duroplastične smole:

- HDT prema ISO 75-1:2013
- Tg ili Tm koristeći termomehaničku analizu (TMA) prema ISO 11359-1:2014
- dinamička termomehanička analiza (DMA) prema ISO 6721-11:2019
- Barcol ispitivanje prema ASTM D2583:2013-03 ili EN 59:2016.

6.9.2.7.1.3 Kemijska kompatibilnost obloge i kemijskih kontaktnih površina servisne opreme s tvarima koje se prevoze mora se dokazati jednom od sljedećih metoda. Pritom je potrebno uzeti u obzir sve aspekte kompatibilnosti materijala ljuske i njezine opreme s tvarima koje se prevoze, uključujući kemijsko propadanje ljuske, početak kritičnih reakcija sadržaja i opasne reakcije između njih.

- a) Kako bi se utvrdilo propadanje ljuske, reprezentativni uzorci uzeti iz ljuske, uključujući sve obloge sa zavarenim spojevima, podvrgavaju se ispitivanju kemijske kompatibilnosti u skladu s EN 977:1997 tijekom 1000 sati na 50 °C ili najvećoj temperaturi pri kojoj je određena tvar odobrena za prijevoz. U usporedbi s izvornim uzorkom, gubitak čvrstoće i modul elastičnosti izmjereni ispitivanjem savijanja prema EN 978:1997 ne smiju biti veći od 25 %. Pukotine, mjehurići, rupice kao i odvajanje slojeva i obloga te hrapavost nisu prihvatljivi.
- b) Certificirani i dokumentirani podatci o pozitivnim iskustvima o kompatibilnosti tvari za punjenje s materijalima ljuske s kojima dolazi u dodir pri danim temperaturama, vremenima i drugim relevantnim uvjetima upotrebe.
- c) Tehnički podatci objavljeni u relevantnoj literaturi, normama ili drugim izvorima prihvatljivima nadležnom tijelu.
- d) U dogovoru s nadležnim tijelom mogu se koristiti i druge metode provjere kemijske kompatibilnosti.

6.9.2.7.1.4 Ispitivanje ispuštanjem kugle u skladu s EN 976-1:1997

Prototip se podvrgava ispitivanju ispuštanjem kugle u skladu s EN 976-1:1997, br. 6.6. Ne smiju se pojaviti vidljiva oštećenja s unutarnje ili vanjske strane spremnika.

6.9.2.7.1.5 Ispitivanje vatrootpornosti

6.9.2.7.1.5.1 Reprezentativan prototip spremnika s postavljenom servisnom i konstrukcijskom opremom i napunjen do 80 % svoje zapremnine vodom izlaže se vatri uzrokovanoj požarom otvorenog bazena loživa ulja ili bilo kojom drugom vrstom požara s istim učinkom tijekom 30 minuta. Požar mora biti ekvivalentan teoretskom požaru s temperaturom plamena od 800 °C, emisivnošću od 0,9 i koeficijentom prijenosa topline na spremnik od 10 W/(m²K) i površinskom apsorpcijom od 0,8. Minimalni neto toplinski tok od 75 kW/m² mora se umjeriti u skladu s normom ISO 21843:2018. Dimenzije bazena moraju biti najmanje 50 cm veće od dimenzija spremnika sa svih strana, a udaljenost između razine goriva i spremnika mora biti između 50 cm i 80 cm. Ostatak spremnika ispod razine tekućine, uključujući otvore i zatvarače, mora ostati nepropustan, osim kapanja.

6.9.2.8 Pregled i ispitivanje

6.9.2.8.1 Pregled i ispitivanje prijenosnih FRP spremnika provodi se u skladu s odredbama 6.7.2.19. Uz to, zavarene termoplastične obloge moraju proći ispitivanje iskrenja u skladu s odgovarajućom normom nakon ispitivanja tlakom koja se izvode u skladu s periodičnim pregledima navedenim u 6.7.2.19.4.

6.9.2.8.2 Početni i periodični pregledi moraju slijediti program pregleda radnog vijeka i sve povezane metode pregleda u skladu sa 6.9.2.6.3.

6.9.2.8.3 Početnim pregledom i ispitivanjem mora se potvrditi da je konstrukcija spremnika izrađena u skladu sa sustavom kvalitete koji se zahtijeva u 6.9.2.2.2.

6.9.2.8.4 Osim toga, tijekom pregleda ljuske mora biti naznačen ili označen položaj područja grijanih grijaćih elemenata, biti dostupan na projektnim nacrtima ili mora biti vidljiv prikladnom tehnikom (npr. infracrveno). Ispitivanje ljuske mora uzeti u obzir učinke pregrijavanja, korozije, erozije, nadtlača i mehaničkog preopterećenja.

6.9.2.9 Čuvanje uzoraka

Uzorci ljuske (npr. izrezak) za svaki proizvedeni spremnik čuvaju se za buduće preglede i provjeru ljuske tijekom razdoblja od pet godina od datuma početnog pregleda i ispitivanja i do uspješnog završetka petogodišnjeg periodičnog pregleda.

6.9.2.10 Označivanje

6.9.2.10.1 Zahtjevi iz 6.7.2.20.1 primjenjuju se na prijenosne spremnike s FRP ljuskom, osim onih iz 6.7.2.20.1 (f) (ii).

6.9.2.10.2 Informacije potrebne u 6.7.2.20.1 (f) (i) su:

„Konstrukcijski materijal ljuske: Vlaknima ojačana plastika“, vlakna za ojačanje, npr. „Ojačanje: električno staklo“ i smola, npr. „Smola: Vinil esterska“.

6.9.2.10.3 Zahtjevi iz 6.7.2.20.2 primjenjuju se na prijenosni spremnik s FRP ljuskom.