

**THE CHANGING ENVIRONMENTAL AND
FIRE SAFETY DIMENSIONS OF THE SUR-
FACE TENSION PHENOMENON****A FELÜLETI FESZÜLTSG
JELENSGÉNEK VÁLTOZÓ KÖRNYEZET-
ÉS TŰZVÉDELMI DIMENZIÓI**NAGY Rudolf¹**Abstract**

Fire safety as a word also symbolises its complexity of purpose. In other words, on the one hand it must offer a solution to the problem of the material interactions in the phenomenon of fire, and on the other hand it must offer a solution for its practical application. It must integrate them into an effective protection system by setting up technical and organisational systems. In this respect, the solutions are constantly confronted by researchers and professionals with questions that cross disciplinary boundaries. This is particularly evident in the physico-chemistry issues that are at the intersection of physics and chemistry. A great many of these interactions occur on the surface of the materials in contact. However, some surfactants are environmentally hazardous and some fire-fighting foaming agents are being phased out due to the hazardous properties of some of them for humans. Therefore, it is worthwhile to test substances with surface tension phenomena that have a decisive influence on the surface tension.

Keywords

surface tension, tenside, liquid, extinguishing agent, foam

Absztrakt

A tűzvédelem mint szóösszetétel is jól szimbolizálja annak összetett céltelezését. Vagyis egyfelől megoldást kell kínálnia a tűz jelenségében mutatkozó anyagi kölcsönhatások veszélyének kezelésére, másfelől pedig az ezek gyakorlati alkalmazására. Műszaki, illetve szervezeti rendszerek felállításával kell azokat hatékony védelmet garantáló egységbe integrálnia. Ilyen tekintetben megoldásaiban folyamatosan a tudományterületek határait áthágó kérdésekkel szembesülnek az azt művelő kutatók és szakemberek. Ez különösen a fizika és a kémia összefonódását jelentő fizikai-kémia kérdéseiben érhető markánsan tetten. Igen sok ezek közül az érintkezésbe lépő anyagok felületén mutatkozik meg. Azonban a felületaktív anyagok egy része környezetre veszélyes, sőt egyes tűzoltó habképző anyagok emberre is veszélyt jelentő tulajdonságai miatt európai vegyi anyagok korlátozása révén kivonásra kerülnek. Ezért érdemes az azt döntően befolyásoló felületi feszültség jelenségét mutató anyagokat tüzetes vizsgálat alá venni.

Kulcsszavak

felületi feszültség, tenzid, folyadék, oltóanyag, hab

¹ nagy.rudolf@uni-obuda.hu | ORCID: 0000-0001-5108-9728 | habil. senior lecturer, Óbuda University, Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Budapest, Hungary | habil. adjunktus, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

BEVEZETŐ

A vizekben kifejlődött élet hosszú ideig nem tudott véglegesen elszakadni az éltető nedves élőhelyek közelsége jelentette lételemtől. Ezt a szárazföld meghódításában a következő evolúciós lépcsőfokot az elnevezésükben is reprezentáló kétéltűek képezik. Egyes, még tovább merészkedő fajaik a szó szoros értelmében is messzebbre merészkedtek ennél az időlegesen bírtokba vett élettér kiterjesztésében. Az esőerdők lombkoronájában élő békafajok némely képviselői ezért már régóta megalkották maguknak azt a köztes környezeti közeget habok formájában, amely a folyadékok nedvesítő és a gázok szigetelő előnyös tulajdonságait egyesíti. Ezen sajátosságaiknak köszönhetően utódaiknak a leveleken kialakított habrétegbe rejtve petéiknek biztonságos „bölcsőt” garantálhatnak. A nyálkával képzett habok a szükséges nedvességet megőrizni képes és egyben kellően stabil szerkezetet kölcsönöznek a petéknek, majd az abból kikelő ebihalaknak életük kezdeti, vízhez kötött és igen védtelen átmeneti szakaszában. [1]

Bár nem ez az egyedüli állati felhasználása a haboknak. A tajtékos kabóca lárvája szintén habréteggel vonja be magát, amely rejtekül szolgál a rá vadászó ragadozók elől. Ezt a lárvát a kiszívott és elfogyasztott növényi nedvekből képződött ürülékéből állítja elő. [2]

Az ember évezredek óta tartó megfigyelései révén nagyon sok ehhez hasonló tulajdonságát azonosították a természetben található növényi anyagok viselkedésének. Az egyik ilyen idevágó, anyagi sajátosságként azonosították, hogy mely anyagok „elegyednek” egymással, és közülük is kiemelten a vízzel.

A természeti népek máig használnak növényi kivonatokat ilyen vagy olyan célból. Többnyire ezek az extraktumok, valamely biológiailag aktív hatóanyag kinyerését szolgálják. A kapott növényi vagy állati szerves anyagok felhasználhatósága azon múlik, hogy miként nyerhetők ki. Például a trópusokon egyes növények kérgében fellelhető alkaloidáknak a patkok vízébe történő beoldásával való halászat, mivel a halakra toxikus anyag miatt a vízfelszínre emelkedő halak könnyen összegyűjthetők.

Az ezen jelenségekhez kötődő másik fontos fizikai-kémiai jellemző az egyes anyagok elegyedését befolyásoló oldékonyság, amely egyebek mellett a szennyeződések eltávolításában is lényeges kérdés. Már évszázadokkal ezelőtt a különféle anyagok kikészítésekor alkalmaztak természetes anyagokat. Így például a szappanról szóló első közel 4800 évvel ezelőtti feljegyzés Babilonból származik, amelyet a gyapjú tisztítására szolgál, amelyet addig nem lehet festeni, amíg a juhszörben lévő faggyút el nem távolítják. Ennek leírását tartalmazza az 1. ábrán látható, A sumer birodalom ninivei könyvtárából származó ékírásos agyagtábla. [3]



1. ábra: A szappankészítés leírását tartalmazó mezopotámiai ékírásos agyagtábla [4]

Más későbbi feljegyzések is említést tesznek a szappanról, mint tisztálkodó szerről, például Plinius szerint „A szappan (sapo) is a gallok találmánya, hogy fényessé tegyék a hajukat. Faggyúból és hamuból készül, a legjobb bükkfa hamuból és kecskezsírból.” [5]

AZ OLTÓHABOK KÉPZÉSÉNEK ELMÉLETI HÁTTERE

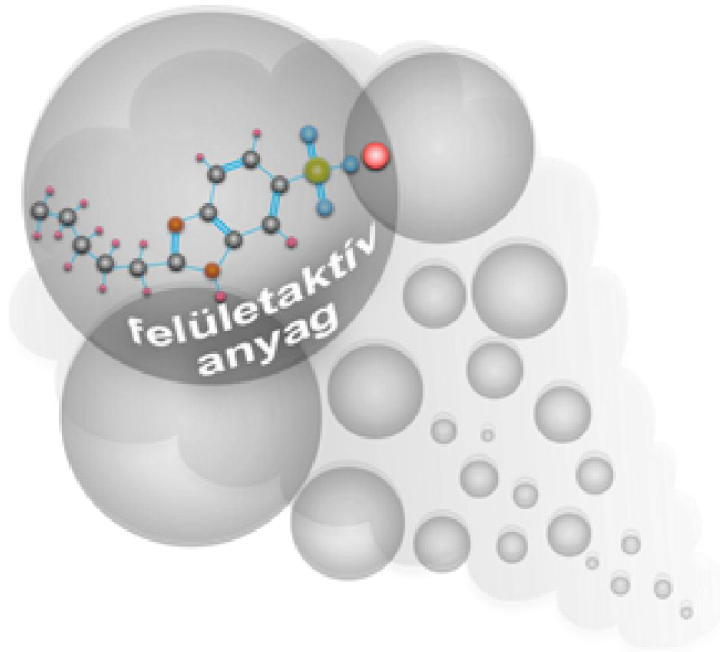
Az évezredekken keresztül finomodó szappankészítés módszerével nyert tisztítóanyag sokáig egyedüli detergens volt, amelynek alapját adja az eltérő elegyedési képességű alkotók között fellépő kohéziók és az azok alapját adó fizikai-kémiai folyamatok.

Azonban olykor szükséges ilyen eltérő anyagok különböző, de előnyös tulajdonságainak egyesítése az alkalmazás összetett igényei miatt. Ezeknek a több komponensekből álló heterogén rendszerekben megmutatkozó fázishatárok azonban bizonyos körülmények között rontják a felhasználás hatékonyságát. Míg más esetekben kifejezett épp ellenkezőleg, a cél az elkülönülő határoló felszínekkel szabdaltn heterogén anyagszerkezeti felépítés, ahogyan azt a folyadékokból képzett haboknál és más, például a szilárd haboknál is látjuk. [6]

A folyadék-gáz diszperz rendszerekben ébredő kölcsönhatások ettől jelentősen eltérnek, mivel bennük stabil viszonylagosan egyenletes eloszlást mutatnak az azt alkotó diszpergáló szer szerepét betöltő folyadék és a benne elosztatott gáz fázis. Ezeknek az elsődleges megjelenési formája a tűzvédelemben az oltóhabok, amelyek az úgynevezett lioszoloknak egy sajátos kategóriája, azaz hidroszol. [7]

A fő alkotó elemét a nevéből adódóan az oltóvíz, mint folyadék adja. Bár a víz önmagában is képes például a levegő gázainak beoldására, azonban ez kémiai kötőerők nélkül nagyon gyakran elégtelen nagyságrendű habképzéshez. Ráadásul, ha kemiszorpcióval párosuló gázmegkötés valósul meg, úgy az már külön fázisként nem lesz elkülönülő része az oldatnak az igen erőteljes elsődleges kötőerők miatti gáz halmazállapotú komponensek molekuláris szintű megkötésének. Ahogyan azt például az levegőben is megtalálható, a savas esők képződéséért is felelős kén-dioxid vagy a karbonátos kőzeteket is hatásosan erodáló széndioxid vízzel való reakciójánál is tapasztalhatjuk. [8]

A jóval alacsonyabb energiával rendelkező másodlagos kötőerők, már nem is teszik lehetővé az egyéb a vízhez kémiailag nem kapcsolódó gázok vízben nagy mennyiségben történő elnyelését normál légköri nyomáson. Ehhez a levegő gázainak oldódását növelő adalék, azaz felületaktív vegyületek hozzáadásával teremthetnek meg a szükséges körülmények. A tenzideknek is nevezett anyagok jellemzői alapjaiban határozzák meg a képződő hab tulajdonságait. Ebben fontos szerepet játszanak az ezen anyagok molekuláris összetétele. Ez a 2. ábra illusztrált módon, már töredék mennyiségben is döntő kihatással van a vízbe juttatott légbuborékok tartósságára és mennyiségére, valamint az azokból képződő habcellák összekapcsolódására.



2. ábra: A felületaktív anyagok szerepe légbuborékok létrejöttében
 Forrás: Szerkesztette a szerző

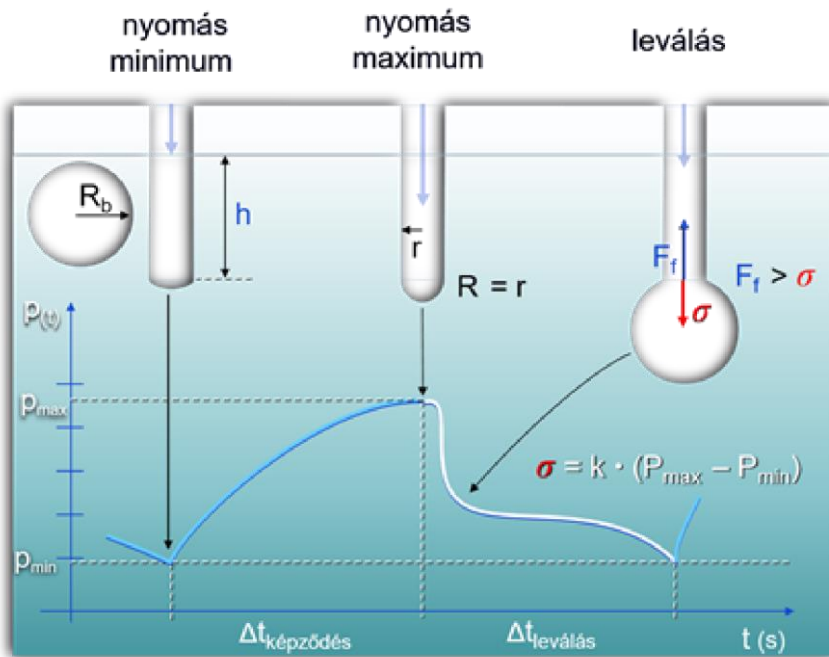
A habképző anyag oldatba vitelének eredményeként létrejövő légbuborékok keletkezéséhez és tartósan fennálló halmazokba rendeződésének a megteremtése sok tényező együtthatásán alapul, ahogyan azt az alábbi, a felületi feszültség értékének buborék képzés útján történő meghatározását leíró képletből is kiolvashatjuk:

$$R^3 = \frac{r\sigma}{k\rho g}$$

ahol:

- R- leszakadó buborék sugara,
- r- hajszálcso sugara,
- σ - felületi feszültség,
- k- együttható,
- ρ - a folyadék sűrűsége,
- g- nehézségi gyorsulás, [9]

Az ezen elvet felhasználó, a 3. ábrán illusztrált mérési módszer vizsgálati elrendezésben a felhajtó erő és a kapilláris pereme mentén fellépő felületi feszültség között kialakuló egyensúlyi helyzethez tartozó paraméterek felhasználásával a felületi feszültség értéke könnyen meghatározható.



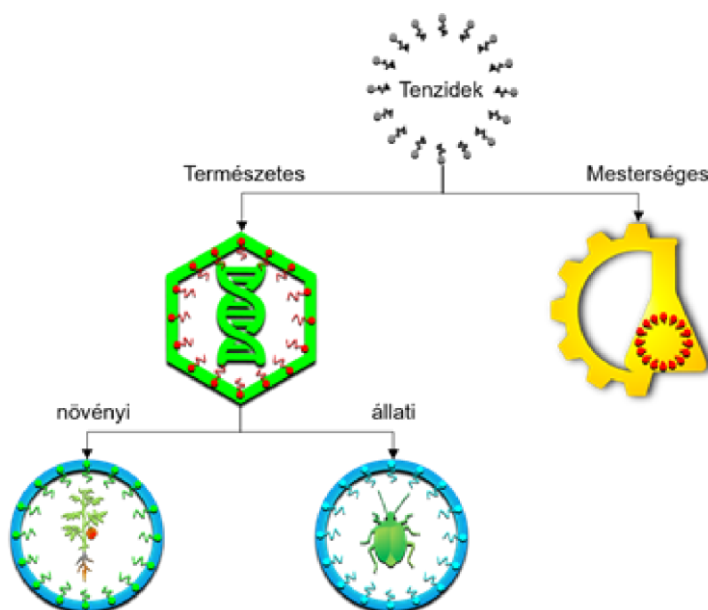
3. ábra: Buborék felületi feszültségének és a nyomás összefüggése
 Forrás: [10] nyomán szerkesztette a szerző

Az egyik leglényegesebbike ezek sorában a légbuborékok körül új felület képződése. Ahogyan az az előző képletből is kitűnik ehhez az új folyadék felület létrehozását akadályozó erő, a felületi feszültség leküzdése szükséges. Egy-egy elkülönülő buboréknál ez az energia nem igazán tűnik jelentősnek, azonban amint ez a folyadék felszínre emelkedő buborék felhasadás nélkül türemkedik ki az egyenes, folyadéktestet határoló homogén felületből további újabb folyadékfelszínnel kell növelnie annak összegzett méretét. Azaz a buborék a folyadék felszínnel érintkező levegőtől való elhatárolását egy kettőzött módon rétegzett folyadékártya fogja biztosítani.

A FELÜLETAKTÍV ANYAGOK KÉMIAI JELLEGZETESSÉGEI

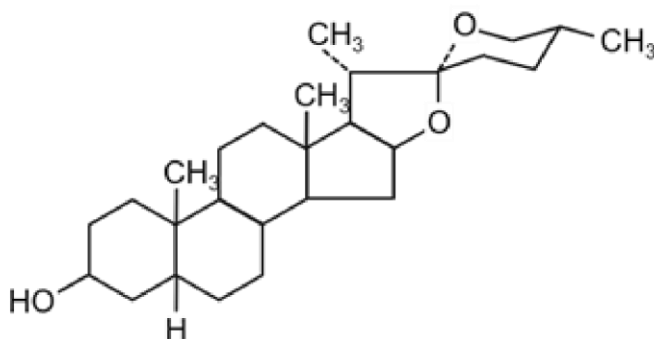
A folyadék-gáz heterogén rendszerek többnyire kevésbé stabilak. Hasonló a helyzet a vízalapú tűzoltó habok esetében is. Bár mechanikai hatások következtében is akár képződhetnek a víz felszínén folyadékártyák, ahogyan azt például egy-egy nyári esőzés közepette a képződő tócsák felszínén feltűnő buborékoknál is megfigyelhető, de ezek igen „rövid életűek”.

Ahhoz, hogy a buborékok megnövelte felszín stabilizálhassuk, ellensúlyoznunk kell a hárták felhasadását kiváltó erőket, és kitüntetetten a felületi feszültség ellenében. Az ilyen tulajdonságokkal rendelkező vegyületek előfordulnak a természetben, amint arról már a bevezetőben is szó esett, de köztük a 4 ábrán szemléltetett felosztásnak megfelelően találunk mesterségesen megalkotott vegyületeket. Nem egy ezek sorában a tűzoltóhabok előállításához is használatos.[11]



4. ábra: Tenzidok felosztása eredetük szerint
 Forrás: [10] nyomán szerkesztette a szerző

A növényi anyagok között legelterjedtebb a szaponinok, amelyek a 5. ábrán látható kémia alapstruktúrát tartalmazó növényi glikozidok szapogenineknek nevezett egy csoportja.



5. ábra: Szapogeninek kémiai alapfelépítése (szpirosztán)
 Forrás: [12]

Az elnevezéséből következően az ezt szöveteikben tartalmazó növényeket vízben szédőrszölve intenzív habzást mutatnak. Ezek egyik képviselője, a gyógynövények közismert, Orvosi Szappanfű (*Saponaria officinalis*). A szaponinok azonban nem túl erélyes felületaktív vegyületek, ezért csak metastabil, átmeneti habokat képesek létrehozni.

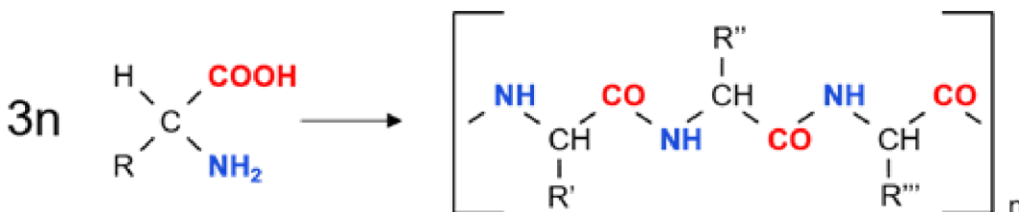
Az oltóhabok alkalmazására elsőként 1877-ben benyújtott szabadalmában J. H. Johnson tett javaslatot. Az éghető folyadékok oltását nátrium-hidrogénkarbonát, szaponin és az alumínium-szulfát vizes keverékének kémiai reakciója nyomán felszabaduló széndioxid előidézte habfejlődést az alábbi reakcióegyenlet szerinti folyamatot felhasználva javasolta kivitelezni. [13]



A felületaktív anyagok a habképzés során nem kémiai reakciópartnerként vannak jelen a közegben, ugyanakkor a vegyületek egyedülálló osztályát alkotják, mivel képesek a fizikai-kémiai jelenségek sorába tartozó felületi és határfelületi tulajdonságok radikális megváltoztatására. Ezek a tulajdonságok lehetővé teszik egyrészt a felületaktív anyagok alkalmazását a nedvesíthetőség módosításában, a mosóhatás és a folyékony fázisok kiszorításában porózus közegben, másrészt a diszperziók - beleértve a habokat, habokat és emulziókat - stabilizálásában. [14]

A felületaktív anyagok molekuláiban a folyadék egy vagy több kiemelt szerepet betöltő funkcionális csoport található. Oldataikban képesek a felületi aktivitásukat meghatározó orientációba rendeződni.

Az erősebben felületaktív vegyületek képesek egészen erős, stabil habszerkezetet kialakítani. Ilyenek például a hosszú láncú alkoholok és zsírsavak, valamint a fehérjék. Ezek a habképzők hosszú időn át stabil habréteget hoznak létre. Az állati eredetű természetes tenzidok legfőbb képviselői a fehérjék közül kerülnek ki. A természetes proteinek az α -aminosavak összekapcsolódása révén képződnek, melyeket azonos szénatomhoz kapcsolódó konjugált karboxilcsoport és aminocsoport jellemeznek és szerkezetük az 6-os ábrán szemléltetett általános kémiai struktúra jellemző.



6. ábra: Fehérjék képződésének vázlata
Forrás: [15] nyomán szerkesztette a szerző

A fehérjéket alkotó proteinlánc az aminosavak karboxil-csoportjainak és amino-csoportjainak savamid jellegű kötések láncolatának révén jön létre. Az így létrejövő polipeptidok vízben oldhatatlanok, ezért a fehérjék makromolekuláit biológiai úton enzimek segítségével vagy kémiai reakciók útján bontják rövidebb láncokra, melyek további eljárásokkal teszik vízzoldhatóvá. A felületeti peptidláncok a tűzoltásban már ezen módosított kémiai szerkezettel kerülnek felhasználásra.²

A mesterségesen előállított felületaktív vegyületek tárháza természetszerűleg ennél jóval szélesebb kört ölel föl, hisz még a természetben előforduló vegyi anyagok szerkezetileg módosított változatain felül is számos olyan anyagot sorolhatunk ide, amelyek kémia szerkezeti felépítése a speciális technológiai felhasználási területek követelményeihez igazodóan tudatosan került megtervezésre. A vízben, mint az oltóhabok diszperziós közegét szolgáltatató anyagban olyan, a dipólus molekulaszervezetből adódó, úgynevezett hidrogénhidak, mint másodlagos kötőerők ébrednek, amelyek a felület növelése ellen hatnak. Ezt a víz részecskéi

² A kémiai összetétel (felületaktív anyag) szempontjából a habképző szereket szintetikus (szénhidrogén- és fluorotartalmú), fehérje (protein) és fluoroprotein (fluoroprotein) alapú anyagokra osztják. [16]

között létrejövő rendkívül erős vonzást kiváltó kölcsönhatások hatékony csökkentését, akár szintetikus felületaktív anyagok hozzáadásával is elérhetjük. Az általuk mutatott, a felszíni rétegben jelenlévő vízmolekulák közötti kiegyenlítetlen vonzását gyengítő képességük elsődlegesen kémiai szerkezetükből adódik. Ezek a víz kémiai és fizikai kémiai szempontból is kettős jellegét visszatükröző módon kémiailag is változatos anyagok lehetnek.

A szakmailag elfogadott felosztás szerint a felületaktív anyagok osztályozása a 7. ábrán illusztrált alapvető csoportokat foglalja magában:

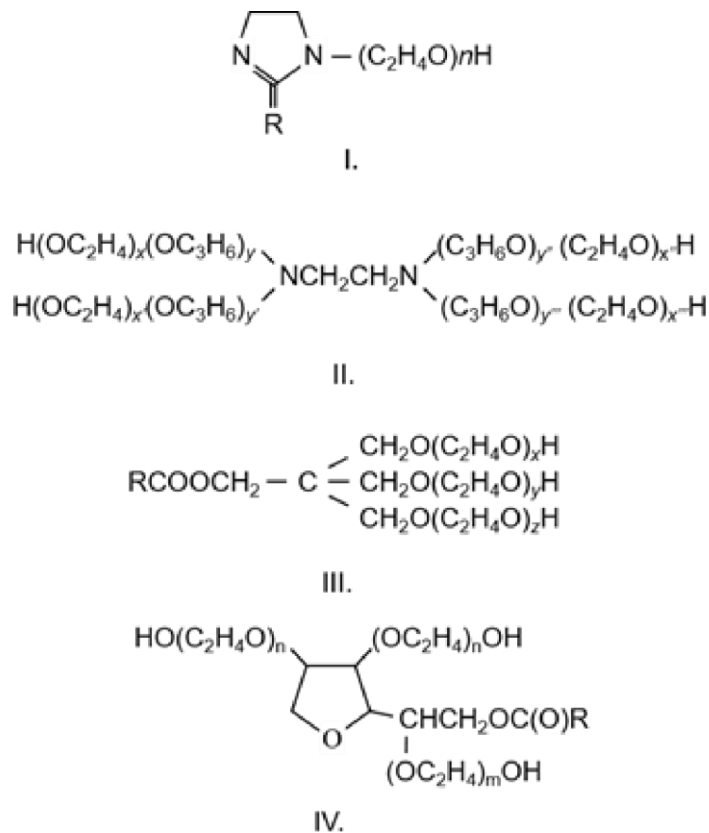


7. ábra: Felületaktív anyagok csoportosítása
Forrás: [17] nyomán szerkesztette a szerző

A nem ionos felületaktív anyagok vízben nem ionokra disszociálnak. Oldhatóságukat az alkoholokként és származékaikkal kialakított hidrogénhidak adják. Képviselőik között a polietilén-glikolok alkotta láncok dominálnak. A hidrogénhid-kötések gyengülése miatt a hőmérséklet emelkedésével a nemionos tenzidek oldhatósága csökken. A nem ionos tenzidek jellemzően folyékony halmazállapotúak. A nem ionos szerves tenzideket a molekula hidrofób részének szerkezetében található funkciós csoportok szerint eltérő kategóriákra osztják. A nem ionos vegyületek csoportjait adják:

- Polialkoholok zsírsavas észterei (I.);
- Zsírsavas alkanol-aminok;
- Etilén-oxid adduktumok.

Léteznek szorbitcsoportú felületaktív anyagok is (VI.) Külön csoportot alkotnak a szilíciumorganikus felületaktív anyagok, mint például a $(\text{CH}_3)_3\text{Si} [\text{OSi}(\text{CH}_3)_2]_n - (\text{CH}_2)_3 \text{O}(\text{CH}_2\text{H}_4\text{O})_m \text{H}$. A nemionos tenzidek előzőekben felsorolt csoportjai kémiai szerkezetét a 8-as ábra illusztrálja. A nemionos tenzidek nedvesítő képessége a szerkezetüktől függ. Az elágazó szénláncú tenzidek nedvesítő képessége optimális. A nemionos tenzidek jól kombinálhatók más tenzidekkel, és gyakran képezik mosószerkészítmények komponenseit.



8. ábra: Nem ionos felületaktív anyagok kémiai csoportjai

Forrás: [12]

Az amfoter felületaktív vegyületek egyaránt tartalmaznak savas és bázisos hidrofil csoportot. Vizes oldataik savasak vagy lúgosak lehetnek, amelynek dominanciája az oldat pH-jától függően tolódik el egyik vagy másik irányba.

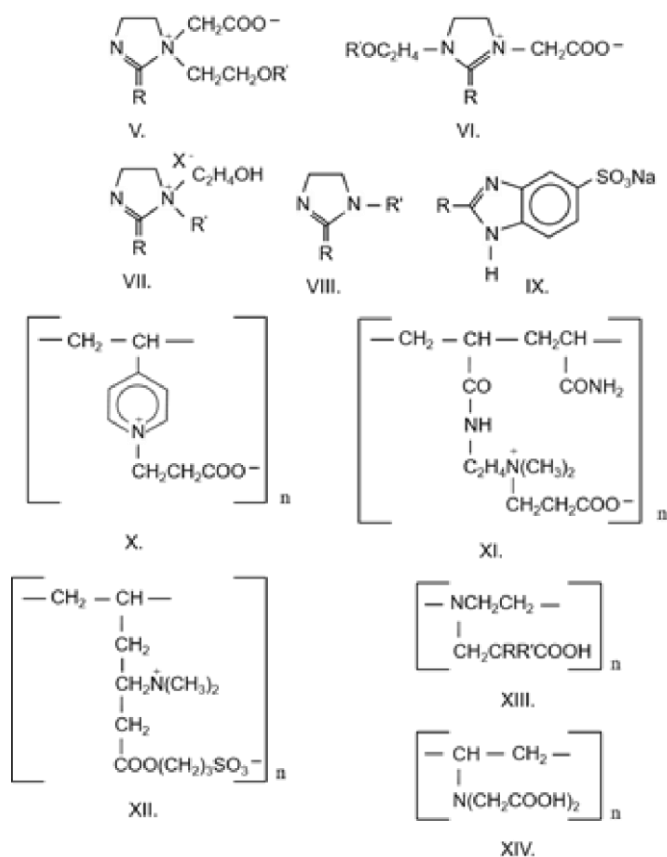
Az amfoter tenzidek molekuláikban a pH-értéktől függően a kationaktív vagy anionaktív felületaktív anyagok tulajdonságokat mutatnak. Bizonyos pH-értékeknél, az úgynevezett zwitter-ionnak nevezett ikerként mutatkoznak meg. A kationos csoport általában primer, szekunder vagy tercier ammóniumcsoportként azonosíthatók. Az anionos csoportok karboxil-, szulfonát- szulfoéter- vagy foszfátcsoportok formájában vannak jelen. Az amfolitikus tenzidek kémiai szerkezetük és bizonyos tulajdonságaik hasonlósága alapján 5 fő csoportra oszthatók:

1. alkil-aminokarbonsavak $\text{RNH}(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$. Ugyanebbe a csoportba tartoznak az alkil-amino-fenil-karbonsavak $\text{RNHC}_6\text{H}_4\text{COOH}$; az alkil-aminokarbonsavak primer, szekunder vagy tercier aminocsoporttal $\text{RCH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$, $\text{RCH}(\text{NHR})\text{COOH}$, $\text{R}(\text{CH}_3)\text{NCH}_2\text{COOH}$; vegyes hidroxil-, éter-, észter-, amid- vagy szulfoamid-, két vagy több amino- és amido-, több amino- és hidroxilcsoporttal rendelkező anyagok.
2. Az alkilbétain a legfontosabb csoportját az úgynevezett zwitter-ion felületaktív anyagok képezik. Ezek az alábbi csoportra oszthatók:

Csoport	Szerkezeti képlet
alkilbetainok	$RCH[N^+(CH_3)_3]COO^-$, $RN^+(CH_3)_2CH_2C SOO^-$
szulfít-, szulfo-, szulfát- és foszfátbetainok	$RN^+(CH_3)_2CH_2CH_2OSO_2^-$, $RN^+(CH_3)_2CH_2CH_2SO_2^-$, $RC_6H_4CH_2N^+(CH_3)_2CH_2CH_2OSO_3^-$, $RN^+(CH_3)_2CH_2CH(OH)CH_2OPO_3^-$
amidobetainok	$RCONH(CH_2)_3N^+(CH_3)_2COO^-$
oxietilált bétainek	$RN^+[(C_2H_4O)_pH][(C_2H_4O)_gH]CH_2COO^-$
Egyéb	-

1. Táblázat: Zwitter-ion felületaktív anyagok

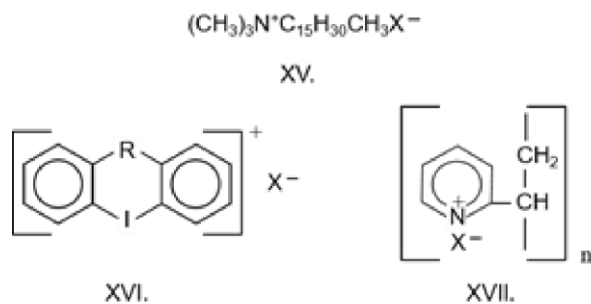
- Alkil-imidazol származékok, amelyek molekuláiban az anionos és a kationos csoportok ionizációs állandója közel azonos, a 9. ábrán vázolt szerkezetű vegyülettel (V. és VI.), ahol R-alkil C_7-C_{17} , $R'-H$, Na, CH_2COOM (M-fém). A kémiai szerkezet karboxi-, szulfo-, szulfát- vagy szulfoéter-csoportokkal történő további módosításával, betain (pl.: VII. - $R' = (CH_2)_nCOO^-$, $(CH_2)_3SO_3^-$, $CH_2CH(OH)CH_2OSO_3^-$) illetve imidazol származékokat (VII. - $R' = CH_2COONa$, $(CH_2)_2N(CH_2COOH)_2$, $(CH_2)_2N=CHC_6H_4SO_3H$, $(CH_2)_2OSO_3H$) kapunk.
- Alkilamino-alkánszulfonátok és szulfátok: Az anionos anyagok könnyen átalakulnak zwitter-ionos formába. (IX.)
- Polimer amfoter felületaktív anyagok: természetes (fehérjék, nukleinsavak stb.); módosított természetes fehérjék oligomer hidrolizátumai; cellulózszármazékok, stb. (X.-XIV.)



9. ábra: Amfoter felületaktív anyagok kémiai csoportjai
 Forrás: [12]

Amint az a 10. ábrán is látható a kationaktív felületaktív anyagok, amelyek többnyire hosszú szénláncú aminosókat tartalmazó vegyületek. Ide tartoznak:

- bizonyos aminosók, illetve
- kvaterner ammónium vegyületek. (XV.)



10. ábra: Példák kationaktív felületaktív anyagok kémiai csoportjainak szerkezeti felépítésére
 Forrás: [12]

A kationaktív felületaktív anyagok olyan felületaktív anyagok, amelyek molekuláit vizes oldatban egy hosszú hidrofób láncú felületaktív kation és valamely anion - általában halogenid, néha kén- vagy foszforsav aniont - alkotják. A kationaktív tenzidek között túlsúlyban vannak a nitrogén tartalmú vegyületek, de gyakorlati alkalmazásban vannak nitrogént nem tartalmazó anyagok is: szulfonium vegyületek $[RR'R''S]^+ X^-$ és szulfoxonium $[RR'R''SO]^+ X^-$, foszfónium $[R_3PR']^+ X^-$, arsónium $[R_3AsR']^+ X^-$, jódium (XVI.). A nitrogén tartalmú kationaktív felületaktív vegyületek a következő az alábbi csoportokba sorolhatók:

1. Aminok és sóik;
2. Mono- és biskvaterner ammóniumvegyületek;
3. kvaterner ammóniumvegyületek különböző funkciós csoportokkal a hidrofób láncban;
4. mono- és biskvaterner ammónium vegyületek nitrogénatomot tartalmazó heterociklikus gyűrűs szerkezetben;
5. Amidok-oxidjai;
6. Polimer felületaktív anyagok. Például polivinil-piridin-halogenidek. (XVII.)

Az anionaktív felületaktív anyagokban a kation nemcsak fématom, hanem szerves bázis is lehet. Ezen vegyületek között a 11-es ábrán példaként bemutatott alkil-szulfátok és alkilaril-szulfonátok a legelterjedtebbek.

Az elsődleges dodecilszulfát és az egyenes láncú dodecilbenzol-szulfonát optimális felületaktív tulajdonságokkal rendelkezik. Vizes oldatokban az anionaktív osztályba tartozókra jellemzően az következő fő funkciós csoportok fordulnak elő:

- $COOH (M)$,
- $OSO_2OH (M)$,
- $SO_3H (M)$,

ahol M egy fém (egy-, két- vagy háromértékű).

A molekula hidrofób részét általában telített vagy telítetlen alifás szénláncok vagy alkilaromás gyökök adják. Az anionaktív felületaktív anyagok hat csoportját különböztetjük meg, amelyek kémiai szerkezetük alapján a következő osztályok valamelyikébe sorolhatók:

1. Karbonsavszármazékok (szappanok): $RCOOM$, $ROOC(CH_2)_nCOOM$, $RC_6H_4(CH_2)_nCOOM$, $RCH=CH-(CH_2)_nCOOM$.
2. Primer és szekunder alkilszulfátok: $ROSO_3M$; $R'R''CHOSO_3M$; alkil-aril-etil-szulfátok $RC_6H_4C_2H_4OSO_3M$; alkil-ciklohexil-etil-szulfátok $RC_6H_{10}C_2H_4OSO_3M$ stb.
3. Alkil- és akilbenzol-szulfonátok, mono- és dikarbonsavakkal képzett összetett észtereinek szulfonátjai: RSO_3M , $RC_6H_4SO_3M$, $ROOCCH_2SO_3M$, $ROOCCH_2CH(COOR)SO_3M$.
4. Alkoholok szulfo- és karboxi-etoxilátjai, karbonsavak szulfo-etoxilátjai, alkilfenil-alkoholok szulfoetoxilátjai, szulfo-borostyánkősav kettős fémsói, telítetlen savak szulfátjainak sói: $RO(C_2H_4O)_nSO_3M$, $RO(C_2H_4O)_nCH_2COOM$, $RCOO(C_2H_4O)_nSO_3M$, $RC_6H_4(C_2H_4O)_2SO_3M$, $ROOCCH_2CH(COOM)SO_3M$, $RCH(OSO_3M)=CH(CH_2)-COOM$.
5. Nitrogén tartalmú felületaktív anyagok: amidoszulfonátok $RCONR'-R''-SO_3M$, szulfokarbonsavak amidjai $RR'NOC-R''-SO_3M$, amidoszulfátok $RCONR'-R''-$

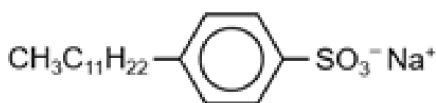
OSO_3M , amidokarboxilátok $\text{RCO}(\text{NH-R}'\text{-CO})_n\text{OM}$, karboxi- és szulfo-csoportokat tartalmazó anyagok $\text{RCONH-R-OCOR}''(\text{SO}_3\text{M})\text{-COOM}$. Az amidcsoport helyett sok ilyen vegyület tartalmazhat szulfoamid-csoportot is lehet, pl. $\text{RC}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3\text{M}$.

6. Perfluorozott karbonsavak, perfluorozott szulfoacetátok, mono- és dialkil-foszfátok és foszfonátok, perfluorozott foszfonátok és egyéb vegyületek sói. [18]

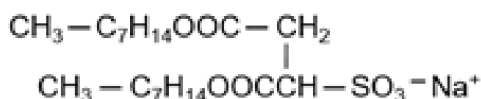
nátrium-sztearát



nátrium-dodecylbenzol-szulfonát



dioktil-nátrium-szulfo-szukcinát



11. ábra: Egyes anionaktív felületaktív anyagok kémiai szerkezete

Forrás: [12]

A fluorozott felületaktív anyagok között a legfontosabbak a 6-12 C atomot tartalmazó fluorozott csoporttal rendelkezők:

R_FCOOM (M - Na, K, NH_4), $\text{R}_F\text{CON}(\text{R})\text{CH}_2\text{COOH}$, $\text{R}_F\text{CON}(\text{R})\text{C}_2\text{H}_4(\text{OC}_2\text{H}_4)_m\text{OH}$, $\text{R}_F\text{SO}_3\text{H}$, $\text{R}_F\text{SO}_2\text{NH}_2$, $\text{R}_F\text{SO}_2\text{N}(\text{R})\text{CH}_2\text{COOH}$, $\text{R}_F\text{SO}_2\text{N}(\text{R})\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$, $\text{R}_F\text{SO}_2\text{N}(\text{R})\text{C}_2\text{H}_4(\text{OC}_2\text{H}_4)_m\text{OH}$, $[\text{R}_F\text{SO}_2\text{NH}(\text{CH}_2)_n\text{NR}_3]^+ \text{X}^-$, $\text{R}_F\text{SO}_2\text{N}(\text{CH}_2)_n\text{N}(\text{R})_2\text{C}_2\text{H}_4\text{COO}^-$, $\text{C}_3\text{F}_7\text{O}[\text{CF}(\text{CH}_3)\text{CF}_2\text{O}]_n\text{CF}(\text{CF}_3)\text{COOM}$ ($n = 0-2$), $\text{R}_F\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOM}$, $\text{R}_F\text{C}_2\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_m\text{OH}$, $\text{R}_F\text{OC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{M}$, $\text{R}_F\text{OC}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}(\text{CH}_2)_n\text{R}_3\text{Cl}^-$. [19]

A fluorozott felületaktív anyagok közül kerülnek ki a leghatékonyabb filmképző tűzoltásban használatos habképző szerek is, melyeknek aktív összetevői a perfluor-karbonsavak és perfluor-alkán-szulfonsavak, stb. A szerves folyadékok felületén való terülőképességüknek köszönhetően kiválóan alkalmazhatók ezen anyagok oltásában más komponensekkel kombinálva.

Az említettek eredményeként a per- és polifluorozott alkilvegyületek (PFAS) vegyületek igen elterjedté váltak a tűzoltásban. Az ez irányú kutatásoknak igen erőteljes lökést adott a Vietnámi Háború folyamán 1967-ben a USS Forrestal hadihajó fedélzetén bekövetkezett tragikus tűz. [20]

A tüzesetet követően a terelődött a fejlesztők figyelmébe a perfluorozott vegyületeket tartalmazó filmképző habok (AFFF) felé. Használata egyre népszerűvé vált a tűzoltásban. [13]

Az előzőekben elmondottakból is kitűnik, hogy a habképző anyagok kémiai szerkezete kialakításának eltérő irányait a tervezett felhasználás szempontjából kívánatos tulajdonságok előtérbe helyezése alapján tűzték ki a fejlesztők. [21]

A HABKÉPZŐ ANYAGOK JELENTŐSÉGE A KÁRHELYSZÍNI GYAKORLATBAN

A habok taktikailag az egyik legsokrétűbben felhasználható oltóanyagok. Az oltóhabok típusának kiválasztásánál és a kárhelyparancsnok optimális használatra vonatkozó döntésének kialakításában a tűzoltás konkrét körülményei szolgálnak kiindulópontként. Általános útmutatásként elmondható, hogy a szempontok sorában az egyik igen meghatározó az égő anyag fizikai-kémiai és egyéb veszélyes tulajdonságai, amelyek kiegészülnek további, az alkalmazás taktikai, valamint műszaki-technikai megfontolásokkal, illetőleg a kárhelyen uralkodó időjárási viszonyokhoz kapcsolódó tényezőkkel. Így a nap, a szél és a csapadék hatását is számításba kell venni a beavatkozások során.

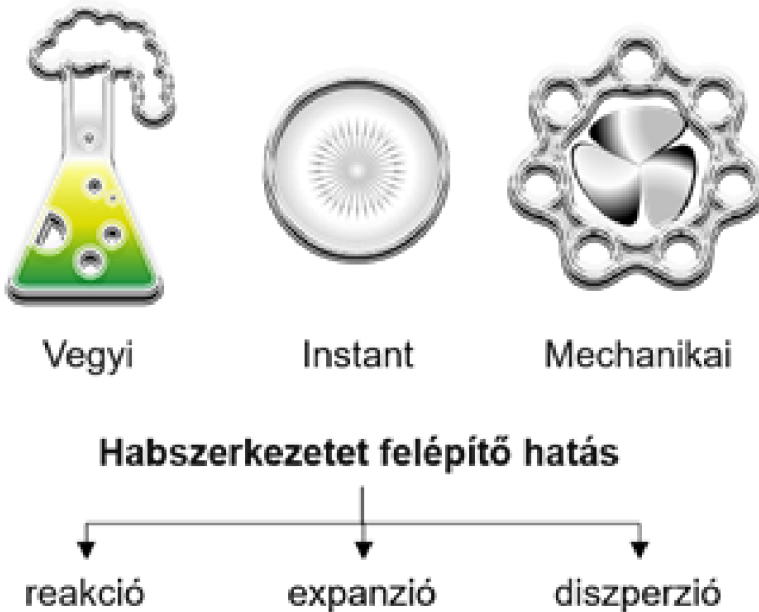
A habok elsődleges oltási mechanizmusa megfelelő, az 1-es táblázatban kiragadott példákban is említett bekeverési arányok mellett, az égés során fellépő diffúziós folyamatok gátlása révén jut érvényre.

Fő komponens	Alkalmazott koncentráció	Rendeltetés
Szekunder nátrium-alkilszulfátok	3	Általános
Olefin-szulfonsavak nátriumsói	6	Általános
Primer alkilszulfátok-trietanolamin sói	6	Speciális
Fluorozott felületaktív anyagok	10	Speciális
Fluorozott és nem fluorozott felület-aktív anyagok keveréke	6	Speciális
Alkil-szulfát	6	Speciális

*3. Táblázat: Egyes felületaktív anyagok habadatai alkalmazásának alapmutatói
Forrás: [22] nyomán összeállította a szerző*

Az ezt eredményező takaró hatás az éghető anyag és az égést tápláló közeg egymástól, valamint a reakciózónától való egyidejű elszigetelésével fékezi meg az égést. Emellett másodlagos oltási tényezőként az elvont hőmennyiség is közrejátszik, a habszerkezetben található víz fajhője, illetőleg párolgáshője mennyiségi tényezőjével kombinált mértékben.

A hab oltási képességeire érdemi kihatással van a haboldatból – az 1-es táblázatban kiragadott példákban is említett bekeverési arányokon túl – előállított habszerkezet kialakításának módja is, amely lehet vegyi, instant, illetőleg mechanikus, amint azt a 12. ábra szemlélteti.



12 ábra: Habképzés módozatai
 Forrás: szerkesztette a szerző

Ugyanis a képződő hab szerkezetének létrejötté első fázisában formálódó légbuborékok egyesülése stabil és egybefüggő habtakaróvá az agglomerációja lezajlásának függvénye. Finoman diszpergált habok előállításával kompaktabb, jobban záró réteg alakítható ki. Mivel az ezt befolyásoló anyagi jellemzők az oltóvíz, illetve a habképző anyag oldaláról állandók, így a diszperziós fokát a formálódó habszerkezetnek a gáz, valamint a víz bevezetésének sebessége, valamint a habgenerátor műszaki jellemzői fogják megszabni. Instant habok esetében ez a hatás az expanszió dinamikájával van szoros összefüggésben. A hirtelen expandáltatás a haboldatból kiváló gázbuborékok egyidejűleg megjelenő nagy számnak köszönhetően tömörebb habszerkezetet eredményez. Vegyi haboknál értelemszerűen a gázképző kémiai kölcsönhatásokat megelőző elegyedés és az ez által a folyadéktestben kialakuló lokális koncentrációértékek függvénye. Kellően egyenletes koncentrációk mellett a képződő légbuborékok is közel egyenletes méretűek lesznek. Az ehhez szükséges körülmények természetesen megfelelő műszaki kialakítással garantálhatók.

A kárhelyszíni beavatkozásoknál a jellemzően nagy égő felület, valamint a tűz dinamikája ezen mutatókhoz mérhető kellően nagy intenzitású és tartósságú stabil habok előállítását igénylik. Az ezen feltételeket kielégíteni képes módszer a mechanikus léghabokkal tudják megteremteni a beavatkozó tűzoltók. Tekintve, hogy az oltás során kijuttatott habréteg szerkezetét folyamatosan roncsolják a már korábban is említett külső hatások, úgy mint a tűz során fejlődő hő vagy a vegyi anyagok okozta kölcsönhatások, megfelelő stabilitással kell rendelkeznie.

Ezt úgy állítják elő, hogy a levegőt mechanikusan keverik a habképző anyagok vizes oldatával, amelyek csökkentik a határfelületi feszültséget és növelik a stabilitását.

Oltás közben a tűzhelyszínen található anyagokkal való fizikai kontaktus mechanikailag is megbonthatja a habszerkezetben jelenlévő lamellák szerkezeti integritását. Azonban

megfelelő diszperzitású és rugalmassággal rendelkező habszerkezet esetében nem számottevő. Ez a légbuborékok kellő falvastagságát eredményező haboldat-koncentrációkkal kivédhető.

Az oltóhabot érő károsító effektusok sorában a természetszerűleg jelenlévő tűzhatásban fellépő termikus folyamatok komoly vízvesztéssel járnak, amely nyilvánvalóan a habszerkezet bizonyos idő elteltével annak tönkremenetelét idézhetik elő. A másik fontos összetevője a termikus összeomlásnak a lamellák szilárdságvesztése, amelyet az emelkedő környezeti hőmérséklet okozta belső nyomásnövekedés kritikussá válása idéz elő. A légbuborékban az őket fogva tartó hártályokban a felületi feszültséget meghaladó erők ébrednek. A folyadék tenziója és a hőtágulás miatt tovább nő a nyomás, és elegendő idő múlva a lamellák felhasadását okozza. Ebből logikusan adódik, hogy a habszerkezet stabilitásának számszerűsített értékét ezeknek a habterfogatsökkenéssel járó károsító folyamatok dinamikájának (intenzitásának) az inverze képezi. Az elmondottakból következően a magasabb hőmérséklet gyorsítja a habszerkezet tönkremenetelét, vagyis a növekvő tűz következtében intenzíven felszabaduló hő rontja az oltóhab stabilitását. A környezeti hőmérséklet tehát fordított arányban van a stabilitással az oltóhab stabilitásával.

A korábbiak alapján látható, hogy a habszerkezet valamilyen mértékű sérülésével mindenképp számolhatunk a beavatkozások során. A hőhatás mellett az oltandó anyaggal való kémiai kölcsönhatásokkal kell leginkább számolni. Az ehhez szükséges a megfelelő közvetlen érintkezés a hab és az éghető anyaggal vagy annak gőzeivel. Ezek bizonyos vegyületek jelenlétében rendkívül drasztikus ütemű lehet, és gyakorlatilag kivitelezhetetlenné válik a tűz elfojtásához nélkülözhetetlen egybefüggő habtakaró létre jötte. Egyes anyagok már a hab területe előtt megsemmisíthetik azt, vagy a habtakaró mennyiségét dinamikusan csökkentve rövid úton megbontják a habtakarót, így az oltás nem kivitelezhető. A habtakaró ilyen vegyi hatások miatti tönkremenetele a habtörés. A habtörés fizikai-kémiai jelenségének a habszerkezet légbuborékait összetartó folyadék hártályokból az oltandó anyaggal történő fokozottabb elegyedés során kioldódó víz vagy tenzidek jelentette szerkezeti tönkremenetel a magyarázata.

A habok stabilitására ezért a legnagyobb kihívást az úgynevezett habtörő tulajdonságokkal rendelkező vegyi anyagok jelentik. Ezért az ezen anyagokkal szembeni ellenállás fokozására a habszerkezet integritását adó hablamelláknak az ezen anyagokkal való közvetlen érintkezését meg kell gátolni. A fizikai elválasztás a leghatásosabb módja a hab stabilitása megőrzésének. Az egyes habtípusok egyedi kémiai szerkezeti tulajdonságainak módosításával felruházhatók az ehhez szükséges fizikai-kémiai sajátosságokkal. [23]

A teljes oltáshoz az égést tápláló gőzök és bomlástermékek utánpótlását meggátoló megfelelő vastagságú és kiterjedésű habtakaró kialakítása szükséges. Az oltóhab degradációnak megakadályozásában említésre méltó tényező, hogy sok esetben még elegendő habsugár bevetése során is – különösen nagy felületre kiterjedő tüzeknél – az egybefüggő habtakaró minél gyorsabb előállítására van szükség. A haboknak ezért nagyon fontos jellemzője a területképeség, ami nem csak a habkiadósággal³ van összefüggésben, de az olyan fizikai jellemzőkkel is, mint a sűrűség és viszkozitás.

A habkiadóságot érintően három a tartományt azonosíthatunk:

³ habkiadóság - A haboldat és belőle képződő hab térfogatarányát kifejező érték, az oldat térfogat-egységére vetítve. [24]

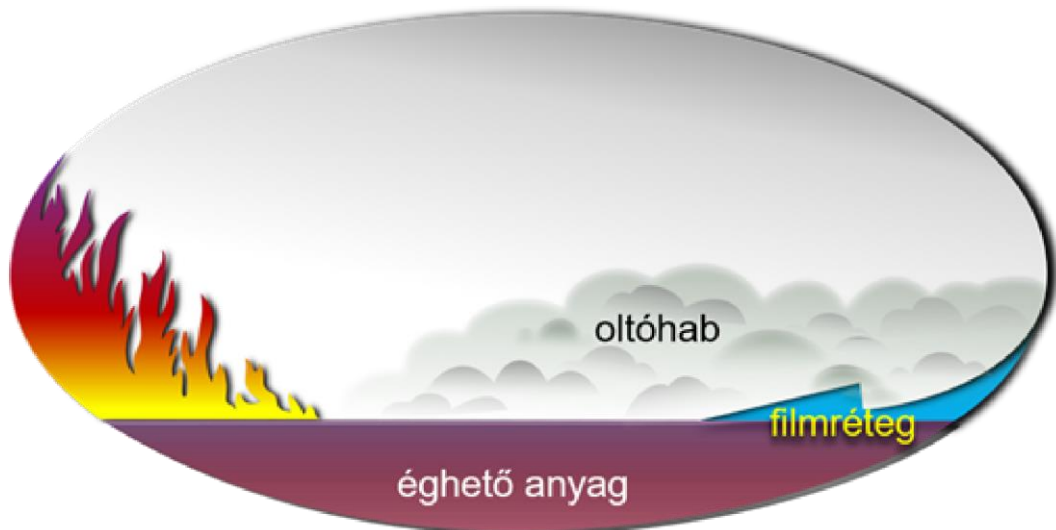
Kategória	Habkiadósság
Nehéz	$H_k \leq 20$
Közepes	$20 < H_k \leq 200$
Könnyű	$200 < H_k$

4. Táblázat: Habkiadósság kategóriái
 Forrás: Restás nyomán összeállította a szerző [25]

A nehéz habokat általában a feleleteken való megtapadást igénylő és viszonylag távolról történő tűzoltási feladatokban alkalmazzák. A közepes a tartályokban lévő gyúlékony vagy éghető folyadékokkal kapcsolatos tüzeknél használják. A könnyű habokat zárt nehezen hozzáférhető területeken, például pincetüzeknél használják. [25]

Gyakorlati oldalról tehát a nagy területeképes habok területeképesítésével is lépést kell tartania az azt védő határréteg felszínén történő filmkiválásának. Minthogy a hab fajsúlya kisebb ezen folyadékok fajsúlyánál a filmképző anyag jelenlétében az oltás körülményeihez és a rendelkezésre álló eszközök és erők képességeihez illeszkedő taktikai helyzet igényelte idő alatt teljesen letakarható az égő, habtörő tulajdonságú folyadék. Így a stabil habtakaró képes beborítani a felszín egészét.

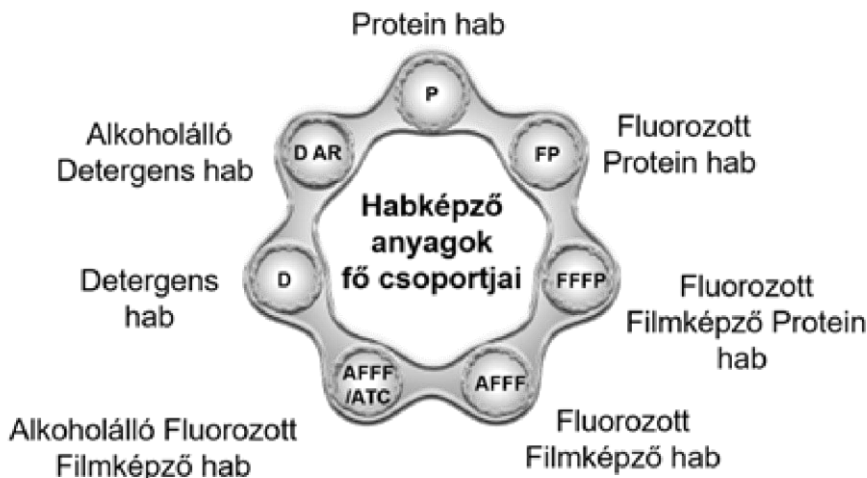
A tűzoltó habokat leggyakrabban éghető folyadékok tüzeinek oltására használják. A fehérjehabok gazdaságosabbak és vastag habokat eredményeznek, de területi tulajdonságaik miatt a takaró hatás kevésbé érvényesül nagy felületű tüzeknél. Ezzel szemben a fluorprotein habok egyebek mellett a kémiai szerkezetükben fellelhető szén-fluor kapcsolatok igen nagy kötési energiájának jól ellenállnak a habtörő tulajdonságú éghető anyagok roncsoló hatásának. Túl ezen a perfluorozott származékok gyors területést biztosítanak az égő tüzelőanyag felületén, melynek mechanizmusát a 13. ábra szemlélteti. [26]



13 ábra: Filmképződés
 Forrás: [27] nyomán szerkesztette a szerző

Bizonyos poláris csoportokat tartalmazó tűzveszélyes folyadék tüzeit a szokványos habokkal nem lehet oltani, mivel ezek a habbuborékokat záró film felületi feszültségét lecsökkentve megsemmisíthetik a habot. Ilyen anyagok az alkoholok, éterek, észterek stb. Ha az oltóhabot nagy magasságból vagy nagy nyomás alatt juttatjuk az égő folyadékra, akkor az belemerül az égő folyadékba, keveredik azzal és a hőhatásra megsemmisül.

Ezért a habképző anyagokban gyakorta kombinálva tenzidek keverékét használják, hogy az érintkező felületen elszigeteljék a sérülékeny habszerkezetet a habtörő tulajdonságú éghető anyagtól a habból a határretegbe kiváló tenzid alkotta összefüggő film segítségével. [28] A habképző anyagok fenti szempontok szerinti alapkategóriái a 14-es ábrán láthatók.



14 ábra: Habképző anyagok alapvető felosztása
 Forrás: [29] nyomán szerkesztette a szerző

A filmképződés ezen együttes funkcióját betölteni képes oltóhabokat kettős filmképzőknek nevezik, köszönhetően annak, hogy az ezen haboldatokból kiváló egyik tenzidkomponens képezte film a hab terülőképességét fokozza, míg egy másik a habtörő folyadék felszínén polimerhártyát képezve védi a habot a károsodástól.

Típus	Kiválási idő	Viszkozitás	Terülőképesség	Poláros oldószer tűrés
Protein	hosszú	nagy	lassú	nem
Fluorprotein	mérsékelt	kis	gyors	nem
AFFF	gyors	kis	gyors	nem
AFFFFP	nagyon gyors	kis	gyors	igen
FFFP	mérsékelt	kis	gyors	igen

5. Táblázat: Habtípusok összehasonlítása
 Forrás: [29]

Mindezen szakmai ismeretek birtokában is adódnak nagy szakmai kihívást jelentő esetek, amelyek szokatlan megközelítést, illetőleg az előzetesen alkalmazott oltási taktika megváltoztatását teszik szükségessé.

Ehhez hasonlatos káresemények sorában említésre méltó a 2007-es a nyugat-ukrajnai Lvov közelében történt vasúti szállítási baleset alkalmával. Ennek során tűz ütött ki a veszélyes vegyi anyagként számon tartott foszfor-pentoxidot tartalmazó vasúti szerelvények kisiklása következtében. Az első tűzoltóegységek a baleset helyszínére kiérkezve a tűz oltását vízzel kezdték meg. A környezetre veszélyes szennyezés gyorsabb ütemű megfékezése céljából a tűz elfojtására habot is bevetettek.

A 700 tonna sárga foszfor égése rendkívül mérgező égéstermékekkel szennyezte a környezetet. Ráadásul a vegyi anyag az oxigénnel érintkezve spontán öngyulladásra képes. A 15 felborult tartály közül 6 kigyulladt, fehér, a keletkezett mérgező felhő 86 km² területet borított be. A katasztrófavédelem 5 óra alatt megfékezte a tüzet, majd lehűtötte a foszfort, és hab és homok kombinációjával. A környék lakossága számára a hatóságok elzárkózást rendeltek el lakosságvédelmi intézkedésként. További 900 embert evakuáltak is. A kárfelszámolás további fázisában a sérült tartályok szivárgását elhárítva a szerelvényt tűzoltó vonatok kíséretében a lakott területek elkerülésével Kazahsztán felé irányították tovább. A szennyezett kárhelyszín mellett gátat emeltek a környezet védelmére és a szennyezett oltóvíz összegyűjtésére. Augusztus 3-án azonban a helyszínen maradt foszformaradványok ismét spontán meggyulladtak. A kárfelszámolás helyzetértékelése alapján a későbbiekben az oltóvizet teljes egészében felváltotta az oltóhab. [30]



15 ábra: Habbal oltás az ukrajnai vasúti vegyi baleset során
Forrás: [31]

Látható, hogy a habképző anyagok segítségével előállított oltóhabok a gyors és hatékony beavatkozások biztosítása révén igen nagy szolgálatot tesznek nem csak a súlyosabb tűzkárok, de a környezeti károk megelőzésében is. Azonban az oltással járó környezetterhelést számításba kell vennünk, amikor a környezetvédelmi hatásokat kívánjuk mérlegelni. „A

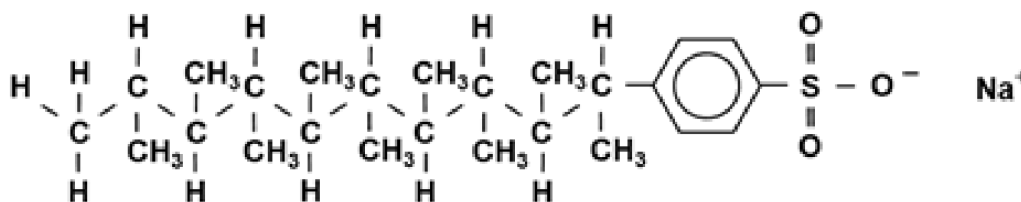
környezettudatos szemlélet bevezetése a tűzoltásban ma ugyanolyan időszerű, mint bármely vegyi üzem, intenzív környezethasználó létesítmény esetében.” [32]

AZ OLTÓHABOK KÖRNYEZETI HATÁSÁNAK DIMENZIÓI

Magukról a tenzidekről is már régóta ismert tény, hogy jelenlétük a környezetben kockázatokkal jár. A leginkább kutatott csoportjaik a különféle detergenssek, amelyek nagymennyiségben vannak jelen a kommunális szennyvizekben. Másik igen fontos kibocsájtó területe az ipar, ahol a különféle feldolgozóipari tisztítási és felületkezelési eljárásokban tonnában mérhető nagyságrendet képviselnek az ide tartozó vegyületek. [33]

Kutatások bizonyítják, hogy elsődleges veszélyeik a szennyvizek által érintett befogadó vizekben jelentkeznek.

A szennyvízzel kapcsolatos egyik fő probléma a tisztítószer jelenléte. A mosószer széles körben elterjedtek hatalmas habrétegek alakultak ki a csatornahálózatok kifolyóinál a szennyvizet a felszíni elvezetőkbe engedik, rendre felhabzások mutatkoznak. A jelenség még a tisztított szennyvízzel szennyezett felszíni és felszín alatti vizekre is kiterjedhet. Ott ahol összefüggő habréteg képeznek a természetes gázcserét is gátolják, így a vízi élet számára nélkülözhetetlen oxigént is elzárja elpusztítva azokat. A szennyvízzel kapcsolatos felhabzásos esetek okozójának többnyire a szennyvízmosószerekben található felületaktív anyagot, az alkil-benzol-szulfonát szerves vegyületet tartják, amelynek szerkezete az alábbiakban látható:



16 ábra: alkil-benzol-szulfonát kémiai szerkezete

Forrás: [34]

Ezen vegyületcsoporttal és a hozzá hasonlókkal a fő probléma, hogy a biológiai lebomlásuk csak lassan megy végbe. Ezért még a biológiai szennyvíztisztításon átesett vizekben is jelentős mennyiségben maradhat vissza. [34]

Értelemszerűen azon részeinek a világnak, ahol nagyrészt tisztítatlanul jutnak be a felszíni vizekbe ezek vegyületek a probléma még fokozottabban jelentkezik. Nem véletlen, hogy e téren a híradásokban gyakran szerepel India vagy éppen Brazília, ahol a detergens miatt felhabzó folyók látványa szinte apokaliptikus képekkel sokkolják a közvéleményt, ahogyan azt a 17-es ábra is bizonyítja.



17 ábra: A detergensekben feldúsult tisztítatlan szennyvíz okozta környezeti hatás a Brazíliai Tietê folyón⁴
Forrás: [34]

Az ilyen és ehhez hasonló környezeti katasztrófák elkerülése érdekében a környezetvédelmi szervezetek kampányokkal is igyekeznek elejét venni az indokolatlan mértékű felhasználásnak, támogatóan a nemzetközi szabályozási törekvéseket. [36] Az utóbbi évtizedekben ez utóbbiak fókuszába a foszfát tartalmú detergenseket állították. Erről tanúskodik az Európai Unió 2007-ben közzétett jelentése is. [37] Ezek környezeti hatását elsődlegesen az élővizekben a foszfornak, mint tápanyagnak a feldúsulásához vezethet, ami viszont eutrofizációs folyamatok túlsúlya miatti biológiai egészsége egyensúlyának felborulásához és az egyéb vízi létformák súlyos degradációját okozza. [38]

Lévén a tűzoltásban alkalmazott habképző anyagok ugyan a felületaktív anyagok közé sorolt vegyületek, így feltételezhető volt, hogy a tűzoltásban oltóhabokhoz adalékként felhasznált anyagok ugyancsak hordozhatnak magukban környezeti kockázatot. Bebizonyosodott egyebek mellett, hogy a nehézfém-tartalmuk szennyezhetik a környezetet. [39]

Túl ezen maga a habképző anyagokkal szembeni gyakorlati elvárások is előtételteltek a környezeti kockázatok igazolódását. A tűz- és vegyi hatásokkal szembeni ellenállóképeség miatti stabil kémiai szerkezet a lebomlási folyamatokban is éreztetik hatásukat, és így a környezeti kockázatok is bizonyítást nyertek. [40] Különösen igaz ez a perzisztens fluorozott felületaktív anyagokra. Mivel a bennük található igen stabil szén-fluor atomok között létrejövő kötések biológiailag is igen ellenállónak bizonyultak. Ezért ipari, illetőleg tűzoltási célú felhasználásuk szigorú környezetvédelmi intézkedéseket igényel. [41] Azonban az ide sorolt tenzidek késznéléteinek végleges kivonása még jó időt vesz igénybe, tekintettel a szabályozás adta átmeneti időre.

A perfluorozott (AFFF) vegyületek oltóanyagként való használata negatív következményekkel is járnak. Az általuk előidézett expozíciót leginkább az emberek egészségére gya-

⁴ Fotó: Paulo Whitaker, Reuters, [35]

korolt káros hatásokkal hozták összefüggésbe. További aggodalomra ad okot a hosszú biológiai felezési idő az emberben, valamint a környezetben való felhalmozódásuk tekintetében az alkalmazás után évekkel, de akár évtizedekkel is számolhatunk. A kutatások továbbra is folynak a különböző expozíciós utakból eredő egészségkárosító hatások meghatározására. [42]

A tenzidek oltóanyagként történő alkalmazása várhatóan továbbra sem nélkülözhető részét fogják képezni a tűzoltási feladatoknak. Fel kell tehát tenni a kérdést: Miként tudjuk ezeket összeegyeztetni a tűzvédelmi szakmai követelményekkel és egyben hozzájárulni a vegyi anyagok jelentette globális kockázatok csökkentéséhez? Erre kínálnak lehetőséget az új fluormentes (F3) helyettesítő, valamint a hagyományos habképző anyagok, illetve a még a korlátozás hatálya alá nem tartozó alternatív C6 típusú fluorvegyületek használata. [43] [44]

ZÁRSZÓ

Egyre összetettebb világunkban folyamatosan nő a tenzidek alkalmazási területeinek a száma és ezzel együtt felhasználásuk mennyisége is. Nincs ez másként a tűzvédelemben sem. Egy-egy tűzoltási feladatnál is nem csak taktikai, de egyéb szempontból is lényeges, hogy minél gyorsabban, hatékonyabban és minél kevesebb kár okozásával számoljuk fel a keletkező tüzeket. Bár a habképző anyagok, mint oltóanyagok messze nem a legolcsóbban, de a költséghatékonyság miatt ésszerű, választás a legtöbb beavatkozások során. Ezzel szemben a habképző anyagok, mint felületaktív anyagok megválasztása - mint az bebizonyosodott – közel sem biztos, hogy minden esetben a tűzoltás legkörnyezetbarátabb módja.

Természetesen az emberi egészség és a környezet állapotára nézve előidézett kockázatok felmérve a jövőben változásokat kell elérni ebben is. Hiszen várhatóan a kémiai biztonság terén zajló szabályozási folyamatok szigorodó trendje, valamint a kivonás előírásokban rögzített határídeje egyre közelebb hozza a változtatás szükségességét a tűzvédelemben.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Cooper A, Vance SJ, Smith BO, Kennedy MW (2017) Frog foams and natural protein surfactants. *Colloids and Surfaces A* 534: 120–129. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.01.049>;
- [2] HVG Könyvek: Bogárvadász (Szakács Sz. ford.), HVG Kiadó Zrt., Budapest, 2016., ISBN 978-963-304-310-3, 13. o. <https://hvgkonyvek.hu/resources/public/Pages%20from%20bogarvadasz.pdf>, (Letöltve: 2022. december 27.);
- [3] Badban, S.; Hyde, A. E.; Phan, C. M. Hydrophilicity of Nonanoic Acid and Its Conjugate Base at the Air/Water Interface, *American Chemical Society, Omega* 2017, 2, 5565–5573., <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b00960>, (Letöltve: 2022. december 31.);
- [4] The University of Pennsylvania Museum: "Orvosi tábla", sumér agyagtábla, (kb. i. e. 2500-2340), <https://www.penn.museum/collections/object/218008>, (Letöltve: 2022. december 31.);
- [5] Caius Plinius Secundus: Természetrájk XXVIII-XXXII. könyv - Orvosságok állatokból, Hoffmann Zsuzsanna (ford.) Quintus Kiadó, Szeged, 2013., 159. o., ISBN 978-963-89401-2-4, XXVIII könyv, LI fejezet, 36. o.;
- [6] Szabó A.: Tűzoltó habképzőanyagok, 1994., Védelem – katasztrófa- tűz és polgári védelmi szemle, 1. évf. 2. 1994., 16. o.;

- [7] Kerekes Zs., Szabó A., Szitányiné S. M.: Égés és Oltáselmélet III. SzIE-YMÉK, Tűzvédelmi Intézet, egyetemi jegyzet, Budapest, 2013., 63. o.;
- [8] Földi László - Halász László: Környezetbiztonság Budapest : CompLex, 2009., ISBN 978-963-295-020-4., 106. o.;
- [9] Halász L., Farkas S.: A tűzoltó habképző anyagokról, In: Vegyivédelmi Évkönyv, 1978., 223. o.
- [10] SITA Messtechnik GmbH: Bubble pressure method for measuring the dynamic surface tension, 2018., <https://www.sita-process.com/information-service/process-parameter-surface-tension/bubble-pressure-method-for-measuring-the-surface-tension/>
- [11] Farkas Dóra: Hajtógázmentes gyógyszeres habok formulálása és jellemzése képanalízis módszerével, Doktori PhD értekezés, Semmelweis Egyetem, Gyógyszertudományok Doktori Iskola, 2021., 11. o., DOI:10.14753/SE.2022.2650, (letöltve: 2023. 06. 29.);
- [12] Химическая Энциклопедия, в пяти томах, Издательства «Большая Российская Энциклопедия» Москва, 1995, т. 4, 293. o.;
- [13] Magyar Tűzoltóság: A tűzoltószerek fejlődésének története – A habbal oltás, Magyar Tűzoltó, 1956. 7. évf., 7. szám, https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarTuzolto_1956/?pg=158&layout=s, (Letöltve: 2023. július 01.);
- [14] Drew Myers: Surfactant science and technology, 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc. 2006., ISBN-13 978-0-471-68024-6, 7. o.;
- [15] Ifendu A. Nnanna Jiding Xia: Protein-Based Surfactants - Synthesis, Physicochemical Properties, and Applications, Marcel Dekker, Inc., 2001., ISBN: 0-8247-0004-X, 25. o.;
- [16] Н.П. Копылов et al: Пожарная Безопасность – Энциклопедия, Министерство Российской Федерации по Делах Гражданской Обороны, Чрезвычайным Ситуациям и Ликвидации Последствий Стихийных Бедствий, МОСКВА 2007., ISBN 5-901140-52-4, 232. o.;
- [17] Fölkl R. et al.: Munkaegészségügyi és Munkavédelmi Enciklopédia, Budapest 1987., 1. kötet, ISBN 963-592-432-1, 475. o.;
- [18] R. Lambourne, T. A. Strivens.: Paint and Surface Coatings - Theory and Practice 2nd. edition, Woodhead Publishing Ltd. Cambridge, 1999., ISBN 1 85573 348 X, 56. o.;
- [19] Химическая Энциклопедия, в пяти томах, Издательства «Большая Российская Энциклопедия» Москва, 1995, т. 5, 394. o.;
- [20] Bödör, Balázs; Nagy, Rudolf: A Forrestal repülőgép-hordozón bekövetkezett tüzeset vizsgálata, Repüléstudományi közlemények, ISSN 1789-770X 28 (1) pp. 189-207 2016., http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_1/2016-1-16-0314_Bodor_Balazs-Nagy_Rudolf.pdf, (Letöltve: 2023. július 04.)
- [21] Nagy Roland: Kőolajok harmadlagos kitermelésében felhasználható növényolaj alapú nemionos tenzidek előállítása. Pannon Egyetem, Vegyészmérnöki- és Anyagtudományok DI, 2015, http://real-phd.mtak.hu/654/7/Nagy_Roland_dissertation.pdf, (letöltve: 2023. 07. 07.);
- [22] В. П. Бабуров, В. В. Бабурин, В. И. Фомин, В. И. Смирнов: Производственная и Пожарная Автоматика - Часть 2. Автоматические Установки Пожаротушения, Академия Государственной Противопожарной Службы МЧС России, Москва 2007., ISBN 5-9659-0047-3, 77. o.;
- [23] Brian F. Gray: Spontaneous Combustion and Self-Heating, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Greenbelt, MD, USA 2016., ISBN 978-1-4939-2565-0, pp. 1665;

- [24] ASTM F 1129 - 88, Standard Guide for Using Aqueous Foams to Control the Vapor Hazard from Immiscible Volatile Liquids, In: Annual Book of ASTM Standards 1994, Section 11, Water and Environmental Technology, Volume 11.04, Pesticides, Resource Recovery, Hazardous Substances and Oil Spill Responses, Waste Management, Biological Effects, ISBN 0-8031-2164-4, 1645. o.;
- [25] Restás Ágoston: Égés- és tűzoltáselmélet, egyetemi jegyzet, NKE, Katasztrófavédelmi Intézet, Budapest, 2014., 136. o.;
- [26] Laurier L. Schramm: Emulsions, Foams, and Suspensions - Fundamentals and Applications, 2005. ISBN: 3-527-30743-5, 299. o.;
- [27] Robert J. Brady et al: Marine fire Prevention, firefighting and fire Safety, Maritime Administration, U.S. Department of Commerce, Maritime Training Advisory Board, National Transportation Apprenticeship and Training Conference, National Maritime Research Center, 1979., <https://ia600609.us.archive.org/13/items/marinefirepreven00mari/marinefirepreven00mari.pdf>, 131. o. (Letöltve: 2023. július 01.);
- [28] В. В. Теребнев, А. В. Подгрушный: Пожарная Тактика - Основы тушения пожаров, Академия Государственной Противопожарной Службы, МЧС России, Москва 2012., ISBN 978-5-9229-0064-5, 118. o.;
- [29] Robert Burke: Fire Protection Systems and Response, 2008., ISBN: 978-1-56670-622-3, 156. o.;
- [30] ARIA: Freight rail transport, Phosphorus leakage after a train derailment, 16/07/2007, https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/33274_en/?lang=enpresentation, (Letöltve: 2023. július 17.);
- [31] Radio Free Europe/Radio Liberty: Site Of Toxic Ukraine Train Crash 'Safe', July 18, 2007, <https://www.rferl.org/a/1077680.html>, (Letöltve: 2023. július 17.);
- [32] Szócs István: Környezetkímélő technológiák kutatás-fejlesztése tartálytüzek oltására Doktori (PhD) értekezés, ZMNE, 2005., 4. o., <https://docplayer.hu/13795495-Kornyezetkimele-technologiak-kutatas-fejlesztese-tartalytuzek-oltasara.html>, (Letöltve: 2023. július 14.);
- [33] Mousavi, S. A., & Khodadoost, F. (2019): Effects of detergents on natural ecosystems and wastewater treatment processes: a review. Environmental Science and Pollution Research, 26(26), 26439-26448. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05802-x>, (Letöltve: 2023. július 10.)
- [34] Stanley E. Manahan: Green Chemistry and the Ten Commandments of Sustainability, ChemChar Research, Inc., 2nd ed., Columbia, 2006., ISBN: 0-9749522-4-9, 179. o.
- [35] National Geographic: Toxic Foam Chokes Brazil River, 2010. szeptember 23, <https://www.nationalgeographic.com/science/article/100921-toxic-foam-river-brazil-science-environment-pictures>, (Letöltve: 2023. július 18.);
- [36] WHO: Washing our Dishes and Clothes without Polluting our Rivers and Seas The importance of an EU restriction of phosphate detergents for laundry and dishwashers, Brussels, 2011., https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/web_phosphate_brochure_1.pdf, (Letöltve: 2023. július 18.);
- [37] Report from the Commission to the Council and the European Parliament, Pursuant to Article 16 of Regulation (EC) No 648/2004 of the European Parliament and of the Council of 31 March 2004 on detergents, concerning the use of phosphates.

- COM_2007_0234_FIN_en_TXT, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0234:FIN:en:PDF>;
- [38] Papp S.: Környezeti Kémia, Környezetmérnöki Tudástár, elektronikus tananyag, ISBN: 978-615-5044-34-2, HEFOP 3.3.1-P.-2004-0900152/1.0, Pannon Egyetem, Veszprém, 2011., 276. o.
- [39] Nagy Zsolt, Kuti Rajmund: A tűzoltóhabok környezetre gyakorolt hatásai, X. évf. 3. szám. http://hadmernok.hu/153_12_nagyzs_kr.pdf, (Letöltve: 2023. 07. 19.)
- [40] Szabó Attila: A tűzoltó habképzőanyagok felhasználásának környezetvédelmi korlátozásai, Védelem Katasztrófavédelmi Szemle, 2020. 27. évfolyam, 6. szám, 27. o.;
- [41] Európai Bizottság 784/2020. rendelete, (2020. április 8.) az (EU) 2019/1021 európai parlamenti és tanácsi rendelet I. mellékletének a perfluor-oktánsav (PFOA), a PFOA sói és a PFOA-rokon vegyületek felvétele tekintetében történő módosításáról, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0784&from=DE>, (Letöltve: 2023. 07. 19.)
- [42] David M. Kempisty, Yun Xing, LeeAnn Racz: Perfluoroalkyl Substances in the Environment - Theory, Practice, and Innovation, 1st edition, ISBN 978-1-4987-6418-6, 2019, 23. o.;
- [43] Szabó Attila: Fluorozott filmképző habanyagok vége? – Mit választhatunk helyettük?, Védelem Katasztrófavédelmi Szemle, 2023. 30. évfolyam, 2. szám, 13. o.;
- [44] Heizler György, Szabó Attila: Fluorozott filmképző habanyagok vége? – Mit választhatunk helyettük?, Védelem Katasztrófavédelmi Szemle, 2023. 27. évfolyam, 6. szám, 27. o.;