

Sisekaitseakadeemia  
Päästekolledž

Eiko Tammist

VAHUAINETE OMADUSED JA ALTERNATIIVSED

VAHUAINED

Lõputöö

Juhendaja:  
Andres Talvari, PhD

Tallinn 2009

# ANNOTATSIOON

## SISEKAITSEAKADEEMIA

Kolledž : Päästekolledž	Kuu ja aasta: mai 2009
Töö pealkiri: Vahuainete omadused ja alternatiivsed vahuained	
Töö autor: Eiko Tammist allkiri:	
<p>Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning selle maht koos lisadega on 37 lehekülge. Võõrkeelne kokkuvõte on kirjutatud saksa keeles. Töö kirjutamisel on kasutatud õppematerjale, laboratoorsete tööde juhendeid, eesti, inglise, saksa ja vene keelseid raamatuid ning erinevaid internetiallikaid.</p> <p>Käesoleva töö uurimisobjektiks on alternatiivsed vahuained, nende väljatöötamine ja kasutamine õppuste ja ennetustöö eesmärgil ning mürgaja kasutamiseks tahkete orgaaniliste ainete kustutamisel.</p> <p>Töö eesmärgiks on koondada ühiste kaante vahele ülevaatlik ja järeldustega varustatud materjal, mis annaks lugejale teavet erinevate vahuainete kustutus omadustest ja alternatiivsetest ainetest, mida kasutada kustutustööde efektiivsemaks muutmiseks ning päästkeskustes kasutamiseks.</p> <p>Lõputöö ülesandeks on välja selgitada, kas on võimalik kasutada pindaktiivseid aineid sisaldavaid vedelikke kustutustööde efektiivsemaks muutmiseks. Lisaks sellele töötab autor välja uue vahuaine, mida kasutusele võttes on võimalik säästa suurel määral rahalisi vahendeid.</p> <p>Töö aktuaalsus seisneb selles, et siiani on kasutatud suhteliselt kalleid vahuaineid nii õppimiseks, ennetustöös kui ka tulekahjude kustutamiseks. Igal vahuainel on kindel otstarve. Miks raisata ressursse?</p> <p>Lõputöö uudsus seisneb selles, et Sisekaitseakadeemia Päästekolledžis pole kunagi varem alternatiivsete vahuainete teemal lõputööd kirjutatud. Samas pole kaasajal mõeldud alternatiivse aine peale, mis võimaldaks hoida kokku rahalisi vahendeid päästetööde valdkonnas.</p>	
Võtmesõnad : Vahtained, pindaktiivsus, pindaktiivsed ained	
Schlüsselworte : Schaumnüttel, Oberflächenspannung, Oberflächenspannung	
Säilitamise koht:	
Kaitsmisele lubatud: Andres Talvari Phd	
Juhendaja allkiri:	

# SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. OLEMASOLEVAD VAHUAINED	7
1.1 Sünteetilise vahuaine liigid	7
1.1.1 Sünteetiline vahuaine	7
1.1.2 Kilevahuaine	7
1.1.3 Alkokilevahuaine	7
1.2 Proteiinvahuaine liigid	8
1.2.1 Proteiinvahuaine	8
1.2.2 Fluoroproteiinvahuaine	8
1.2.3 Fluoroproteiiniga kilevahuaine	9
1.2.4 Fluoroproteiiniga alkokilevahuaine	9
1.3 Vahtude kordsus ja püsivus	9
2. VEDELIKUD JA PINDAKTIIVSED AINED	12
2.1 Vedeliku üldised omadused	12
2.1.1 Voolavus	12
2.2 Pindaktiivsed ained	13
2.3 Märgamine	15
2.4 Kapillaarsus	15
2.5 Pindpinevus	16
3. VEDELIKU PINDPINEVUSKOEFIITSENDI MÄÄRAMINE	17
3.1 Pindpinevuskoefitsendi määramise põhimõtted	17
3.2 Arvutuse näidis	18
3.3 Katsete tulemused	19
4. ALTERNATIIVSE VAHUAINE VÄLJATÖÖTAMINE JA SELLE KIRJELDUS	21
4.1 Kompositsioonide koostamise põhimõtted	21
4.1.1 Vahu kordsuse ja püsivuse määramise meetoodika	21
4.2 Alussegu	22
4.2.1 Alussegu valik ja katse tulemused	22
4.3 Mudelsegud	23

4.3.1 Mudelsegude valmistamine	23
4.3.2 Mudelsegudega sooritatud katsete eesmärgid ja tulemused	25
4.4 Alternatiivne vahuaine	26
4.4.1 Alternatiivse vahuaine võrdlemine kasutusel olevate ainetega.	26
4.4.2 Alternatiivse vahuaine pH taseme mõõtmine	27
4.4.3 Alternatiivse vahuaine keemiline koostis	28
5. ALTERNATIIVSE VAHUAINE KATSETUS – ÕPPUS PÄRNU LENNUVÄLJAL	
29.04.09	29
5.1 Õppuse eesmärk	29
5.2 Õppuse planeerimine ja väliharjutus	29
5.3 Hindajatena viibisid kohal	30
5.4 Probleemid ja tulemused	30
5.4.1 Tulemused	30
KOKKUVÕTE	32
ZUSAMMENFASSUNG	33
VIIDATUD ALLIKATE LOETELU	34
TABELITE JA JOONISTE LOETELU	35
Lisa 1. Pindpinevuskoeffitsendi määramine tilgameetodil	36
Lisa 2. Alternatiivse vahuaine katsetus-õppus Pärnu Lennuväljal 29.04.09	37

# SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö eesmärk on anda ülevaade erinevate vahuainete omadustest, vastata küsimusele: Kas saab kasutada tulekustutamisel pesuvahendit? Lõputöö ülesandeks on töötada välja uus ja odav vahuaine, mida oleks majanduslikult raskel ajal otstarbekas kasutada õppustel, ennetustöös ning märgajana tahkete põlevainete kustutamisel.

Majanduslikest kaalutlustest lähtudes on vaja teada, millised vahuained on märgajaks kõige efektiivsemad ja majanduslikult kõige kasulikumad. Otsustamaks, milliseid vahuaineid päästekeskustesse soetada, tuleb olla teadlik nende ainete omadustest. Järjena Väike-Maarja Päästekooli 2004 aasta kursusetööle "Vahtainete võrdlemine märgaja kasutamiseks" valis lõputöö koostaja teemaks "Vahuainete omadused ja alternatiivsed vahuained". Teema aktuaalsus seisneb asjaolus, et vahtained on suhteliselt kõrgete hindadega ja õppustel, ennetustöös või märgajana orgaaniliste tahkete ainete kustutamisel ei ole otstarbekas kasutada hinnalist vahuainet.

Temperatuuril 20°C on vee pindpinevus ligikaudu 73 J/m<sup>2</sup>, mis tagab veele teatud viskoossuse ehk märgamisvõime. Sattunud tahkete esemete ja materjalide pinnale tungib vesi väikestes avadesse, lõhedesse, pragudesse. Suhteliselt suur pindpinevus väldib vee tungimist pisiaukudesse, mis vähendab olulisel määral vee tuldkustutatavat võimet tahkete põlevainete ja – materjalide, eriti puuvilla, puidu, söe jms kustutamisel. Et vähendada vee pindpinevust, s.t. suurendada tema märgamisvõimet, lahustatakse vees pindaktiivseid aineid, mida nimetatakse märgajateks. Märgajate vesilahuste kasutuselevõtmine parandab tunduvalt vee tuldkustutavaid omadusi: vähendab 2-2,5 kordselt veekulu, tagab põlemise lakkamise 2-3 korda suuremal pindalal või lühendab kustutamisaega 20-30% (Danilov, Devlisev, Nevtjuskin, Kimstats :57). Seega hoitakse kokku nii töötundides kui ka kütuses.

Võttes arvesse asjaolu, et Sisekaitseakadeemia Päästekolledžis ei ole varem ühtegi tööd alternatiivsetest vahuainetest kirjutatud, otsustas käesoleva lõputöö autor jätkata pooleliolevat uurimustööd kasutades siinkohal ära Sisekaitseakadeemia Päästekolledžis pakutavaid

ressursse. Antud lõputöös leiavad kajastamist andmed, mis on aluseks minemaks edasi alternatiivse vahuaaine modifitseerimisega. Uurimustöö piiratud mahu tõttu ei kajastata lõputöös kõiki katseid.

Töö koostamisel on autor kasutanud erinevaid teaduskirjandus allikaid, õppe- ja interneti materjale. Kasutanud erinevaid laboratoorseid seadmeid ning matemaatilisi valemeid. See kõik võimaldab anda piisava ülevaate vahuainete omadustest ja alternatiivse vahuaaine väljatöötamisest.

Autor tänab lõputöö koostamiseks vajalike materjalide ja teadmistega aitamise ning meeldiva koostöö eest Andres Talvarit ja Lääne-Eesti Päästkeskust.

# 1. OLEMASOLEVAD VAHUAINED

## 1.1 Sünteetilise vahuaine liigid

### 1.1.1 Sünteetiline vahuaine

Sünteetiline vahuaine (Expandol, Unifoam, Komet, Sthamer M51) on valmistatud pindaktiivsete süsivesinike segu baasil ja võib sisaldada perfluorosüsivesinikke koos täiendavate stabilisaatoritega. Vahuaine heaks omaduseks on tema hea vahutavus. Sünteetilise vahuaine kasutamine on laialt levinud harjutuste läbiviimisel. (Tammet 2001:4)

### 1.1.2 Kilevahuaine

Kilevahuaine ( Light Water, UniLight, Tridiol, Sthamex AFFF) on valmistatud süsivesinike ja fluoreeritud pindaktiivsete ainete segu baasil, mis mõnede süsivesinike pinnal võib moodustada veelise kile. Kustutustoime seisneb selles, et põlevvedeliku pinnale moodustub ühtlane ja püsiv kile, mis eraldab leegi põlevvedelikust ning takistab põlemiskõlblike gaaside moodustumist. Kile moodustub vahu osalise lahustuvuse tagajärjel ning tema paksus on mõni miljondik millimeetrit ja ta on silmale peaaegu nähtamatu. Sobib kasutamiseks kombineeritud joatorudes, vahujoatorudes, kombineeritud vahugeneraatorites ning kõigis doseerimiseadmetes. Toodetakse 1-, 3-, ja 6% -liste vahuaine lahuste jaoks. (Tammet 2001:4)

### 1.1.3 Alkokilevahuaine

Alkokilevahuaine ( 3M-ATC, Alcoseal, Moussol AP, Komet AX) on vahuaine, mis kantuna alkoholi või mõne teise polaarse lahustaja pinnale on lagunemiskindel ning sellest tulenevalt kasutatakse sellist vahuainet nii mittepolaarsete (naftatooted) kui ka polaarsete vedelike (metanool, etanool, atsetoon, jm.) kustutamiseks. Polaarsete vedelike kustutamisel tavalise vahuga, seguneb vesi vedelikuga ja vahumullid, mis koosnevad peamiselt veest hakkavad lagunema. Vaht hajub ning kasutegur on väga väike. (Tammet 2001:5)

Alkovahuaine aga sisaldab lisaks kilet tekitavatele ainetele veel polümeeri, mis kokku puutel polaarse vedelikuga moodustab geeli. Geel tekib vahu osalise lahustuvuse tagajärjel ning eraldab vahu vedelikust. Seejärel vahu lagunemine lõppeb ja moodustub püsiv vahtkate. Geeli kiht on väga stabiilne ja sitke (silma nähtav). Mittepolaarsete vedelike kustutamisel geeli ei teki, moodustub ainult kile. Vahuaine sobib kasutamiseks kombineeritud joatorus, vahugeneraatoris ja vahujoatorus (polaarsete vedelike puhul) ning doseerimisseadmetes, mis valmistavad vähemalt 6% -list vahuainelahust. Alkovahuainet tuleb käsitseda hoolikalt. Vahuaine ei tohi kokku puutuda sünteetilise vahuainega ega ka alkoholidega. Sünteetiline vahuaine kahjustab polümeeri ja alkoholid käivitavad geeli moodustumise. Säilitada tuleb vahuainet korralikult puhastatud anumates. (Tammet 2001:6)

## 1.2 Proteiinvahuaine liigid

### 1.2.1 Proteiinvahuaine

Proteiinvahuaine (Nicerol, Foamousse P) on valmistatud hüdrolüüsitud proteiinidest. Esialgsetel proteiinvahuainetel oli omadus moodustada säilitusnõude põhja mudatoline kiht, mis mõnikord ummistas nii doseerimisseadme kui ka vahumoodustaja. Proteiinvahuaine on pruunika värvusega ja ebameeldiva lõhnaga. Moodustuv vaht on väga püsiv (stabiilne), sitke ja hea vastupidavusega kuumuse toimele. Nõrgaks pooleks on vahtkate aeglane levimine ja nõrk vastupidavus põlevvedelikele. Kasutatakse vahujoatorudes, kombineeritud vahugeneraatorites (madalkordne vaht) ja igat tüüpi doseerimisseadmetes. Valmistatakse 3- ja 6% -liste vahuainelahuste jaoks. (Tammet 1999:5)

### 1.2.2 Fluoroproteiinvahuaine

Fluoroproteiinvahuaine (FP 70, Fluorfoamousse FP) on vahuaine, kuhu on lisatud fluoreeritud pindaktiivseid aineid. Sobib kasutamiseks vahujoatorudes ja kombineeritud vahugeneraatorites (madalkordne ja keskkordne vaht) ning kõigis doseerimisseadmetes. Fluoroproteiinvahuainel on lisaks proteiinvahuaine omadustele parem vastupidavus põlevvedelikele ja kiirem levimine vedelike pinnal. Valmistatakse 3- ja 6% -liste vahuainelahuse tarbeks. (Tammet 1999:5)



### 1.2.3 Fluoroproteiiniga kilevahuaine

Fluoroproteiiniga kilevahuaine (Petroseal) võib mõnede süsivesinike pinnal moodustada veelise kile. Kustutustoime seisneb selles, et põlevvedeliku pinnale moodustub ühtlane ning püsiv kile, mis eraldab leegi vedelikust ja takistab põlemiskõlblikke gaaside levikut. Vahtkate on stabiilne ning soojustele ja põlevvedelikele vastupidav. Sobib kasutamiseks kombineeritud joatorudes, vahujoatorudes, kombineeritud vahugeneraatorites (madalkordne ja keskkordne vaht) ja igat tüüpi doseerimisseadmetes. Valmistatakse 3- ja 6% -liste vahuainelahuste jaoks. (Tammet 1999:5)

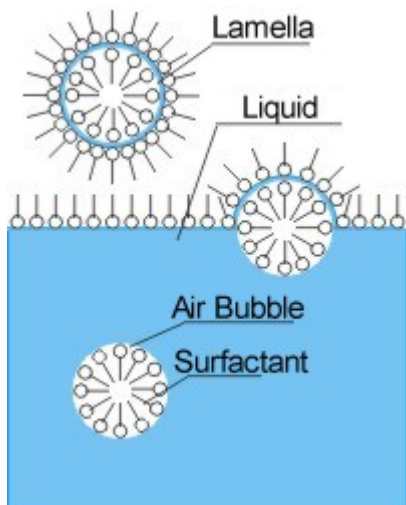
### 1.2.4 Fluoroproteiiniga alkokilevahuaine

Fluoroproteiiniga alkokilevahuaine (Alcoseal), mis kantuna alkoholi või mõne teise polaarset lahustaja pinnale on lagunemiskindel. Kasutatakse mittepolaarsete ja polaarsete vedelike kustutamiseks. Polaarsete vedelike kustutamisel moodustub vahu osalise lahustuvuse tagajärjel geel, mis eraldab vahu põlevvedelikust. Seejärel vahu lagunemine lõppeb ning tekib püsiv vahtkate. Mittepolaarsete vedelike kustutamisel moodustub ainult kile ja vahtkate (geeli ei teki). Headeks omadusteks on vastupidavus põlevvedelikele ja vahu levimiskiirus. Sobib kasutamiseks kombineeritud joatorus, vahugeneraatoris ja vahujoatorus (polaarsete põlevvedelike puhul) ning doseerimisseadmetes, mis valmistavad vähemalt 6% -list vahuainelahust. Alkovahuainet tuleb säilitada korralikult puhastatud anumates. Kokku puutudes sünteetilise vahuainega või polaarset vedelikuga tema head kustutusomadused hävinevad. (Tammet 1999:6)

## 1.3 Vahtude kordsus ja püsivus

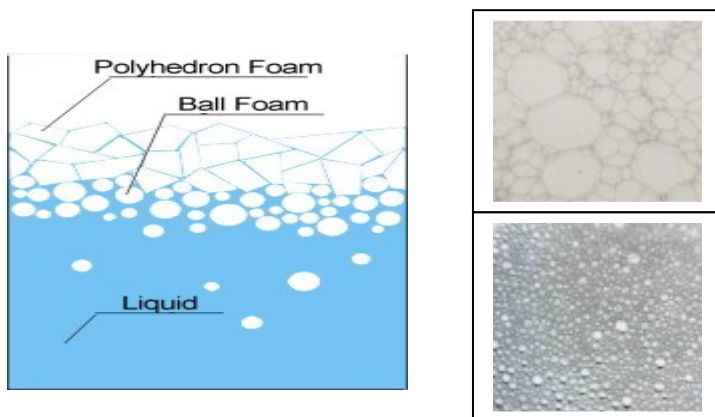
Selleks, et üldse hakkaks vaht moodustuma, peame esiteks langetama vee pindpinevust ja teiseks peame suutma viia vedeliku sisse õhku. Pindpinevust saame vähendada pindaktiivsete ainete lisamisega vedelikku. Pindaktiivne aine seob endaga vedeliku sees oleva õhu. Kui nüüd suruda vedelikku õhku tekitatakse nõ. kardin (õhk – vedelik – õhk), mis ongi põhiliseks

komponendiks vahu tekkimisele (joonis 1). Vaht hakkab lagunema vastavalt sellele, kui kiiresti suudab raskusjõud suunata vedelikku alla suunas. (D. Mabijs,R.Miller:38)



Joonis 1 Pindaktiivse aine ja vedeliku sees oleva õhu segunemine

On olemas kahte erinevat sorti vahtu, märgvaht e. pallvaht ja kuivvaht e. polüeedriline vaht. Pall- ehk märgvaht sisaldab palju üksikuid mullikesi vahupalli sees, mille vahel asub rohkelt vedelikku. Kui vedelik kuivab pinnalt nii, et mullikesed liiguvad teineteisele lähemale siis nad lähevad üle kuivaks ehk hulknurkseks vahuks. Mõlemat tüüpi vahtu esineb vahulahuses, kusjuures kuivvaht asub märja vahu peal (Joonis 2).( A.J. Wilson: 1989)



Joonis 2 Märg ja kuiv vaht

Tähtsamad parameetrid polüeedrilise vahu iseloomustamiseks on paisumissuhe, disperssus ja vahu stabiilsus. Paisumissuhe on suhe vahu ruumalale:

$$\frac{V_f}{V_l}$$

$V_l$  – vedeliku sisaldus temas

$$n = \frac{V_f}{V_l} = \frac{(V_g + V_l)}{V_l} = 1 + \frac{V_g}{V_l}$$

$V_g$  – gaasi ruumala vahus

Vahu disperssus on keskmine mullide suurus

$$\Sigma f = \frac{As}{V\beta}$$

$$\Sigma v = \frac{As}{Vv}$$

$$\Sigma l = \frac{As}{Vl}$$

$A_s$  – kogu pind

Vahu stabiilsus – kõige rohkem kasutatakse nn ”vahu eluiga”. Kvalitatiivsed omadused väljendatakse vahu mahu või vahusamba kõrgusega, mis on saadud püsivatel tingimustel (meetod, temperatuur, PAA kontsentratsioon, Ph jne.).(M.S.Showell 2005)

## 2. VEDELIKUD JA PINDAKTIIVSED AINED

### 2.1 Vedeliku üldised omadused

Puhas vesi on värvusetu, lõhnata ja maitseta vedelik. Vee füüsikalised konstandid on võetud mitmete füüsikaliste mõistete ja ühikute aluseks. Vesi külmub temperatuuril 0 ja keeb 100 kraadi juures. Vesi, jää ja lumi auruvad ka madalate temperatuuride juures. Temperatuuril 4<sup>0</sup> C on vee tihedus suurim ja arvuliselt võrdne 1g/ cm<sup>3</sup>. Veel on anomaalselt suur soojusmahtuvus. Teatavasti iseloomustab soojusmahtuvus energia hulka, mis on vajalik keha (süsteemi) temperatuuri tõstmiseks ühe kraadi võrra. 1 g vee kohta on see umbes 4,2 J. võrreldes teiste vedelikega (atsetoon, alkoholid jt.) on vee soojusmahtuvus umbes 2 korda suurem.(H.Karik 2006: 34)

Üldiselt ainete soojusmahtuvus kõrgemal temp suureneb, vesi on erand. Vee soojusmahtuvus temperatuuri tõstmisel 0<sup>o</sup> kuni 37<sup>o</sup> C ( anomaalselt) väheneb ja hakkab siis kasvama temperatuuri suurenemisel kuni 100<sup>o</sup> C. (H.Karik 2006: 34)

Vee suur aurustumissoojus on soojushulk, mis kulub 1 g aine aurustamiseks nii, et tekiks sama temperatuuriga aur. Klastrites esinevate vesiniksidemete tõttu vee molekulide vahel on veel kõrge aurustumissoojus. Võrreldes teiste ainetega on vee aurustumissoojus tunduvalt kõrgem. Näiteks võrreldes jääga on vee aurustumissoojus 7 korda suurem kui on jää sulamissoojus. (H.Karik 2006: 34)

#### 2.1.1 Voolavus

Vedelike omadus muuta oma väliskuju (võtta anuma kuju), tingitud pidevast molekulide ümberpaiknemisest soojusliikumise tagajärjel. Raskusjõu mõjul toimub molekulide suunatud liikumine.

( $\eta$ , kg /ms) vedelikukihtide omadus takistada vastastikku üksteise või vedelikku asetatud keha liikumist. Väheneb temperatuuri kasvuga. Mida väiksem viskoosus, seda voolavam vedelik: 20°C juures: vesi 1,00 kg/m·s (0,89 25°C juures), atsetoon 0,32 kg/m·s, oliivõli 84,0 kg/m·s

## 2.2 Pindaktiivsed ained

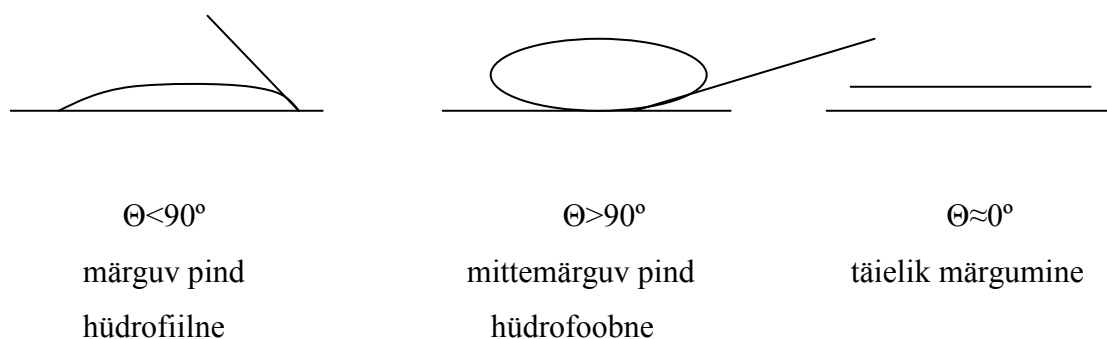
**Detergente** (seep, pesupulber) kasutatakse rasva või mõne muu saaste eemaldamiseks vesikeskkonnas. Detergentide molekulid on alati pikad süsivesiniku ahelad mille ühes otsas on hüdrofiilne grupp. Süsivesiniku ahel seostub rasvaga, hüdrofiilne grupp moodustab sidemeid vee molekulidega ja mustus eemaldub vesikeskkonda. Aineid, mis sisaldavad nii hüdrofiilseid kui hüdrofoobseid gruppe nimetatakse **pindaktiivseteks aineteks**. Nad muudavad vee pindpinevust.

Need peamiselt füüsikalise toimega koostisained on tavaliselt orgaanilised molekulid, kus üks osa molekulaarstruktuurist on hüdrofiilne (vett “armastav”) ja teine osa hüdrofoobne (vett hülgev). Sellised molekulid toimivad puhastusvahendis mustuse ja vee vahelise “sillana”, tekitades füüsikalisi puhastusefekte emulgeerimise, sisseimbumise, märgamise ja vahutekitamise kaudu. Tavapraktikas segatakse vajadusel kokku erinevaid pindaktiivseid aineid, et agensi toimet parendada. (A.Trikkel 2002:5)

Ioonilisi pindaktiivseid aineid on kahte tüüpi, **anioonsed**, mis on vesilahuses negatiivse laenguga ja **katioonsed**, mis on positiivse laenguga. Kui vees lahustuva aine laeng sõltub lahuse pH-st, siis on selle koostises amfoteerne pindaktiivne aine. Need käituvad happelistes tingimustes katioonse pindaktiivse aina ja aluselises keskkonnas anioonse pindaktiivse aina. Ioonseid pindaktiivseid aineid iseloomustab suur vahutekitamise võime. Mitteioonsete pindaktiivsete ainete (vees lahustumisel ei toimu dissotsiatsiooni) omadused on suuresti sõltuvad hüdrofiilse-hüdrofoobse osa tasakaalust molekulis. Seda tasakaalu mõjutab temperatuur. Näiteks sõltuvad lahuse temperatuurist mitteioonsete pindaktiivsete aine vahutekitamise võime muutub. Temperatuuri tõustes väheneb molekuli hüdrofoobne iseloom ja lahustuvus. Hägustumispunktis (lahustuvus on minimaalne) toimivad need pindaktiivsed

ained kui vahutekke vähendajad, hõgustumispunktis madalamal on tegemist vahutekitajatega. Seega ei saa katioonseid pindaktiivseid anioonsetega segada – tekivad välja sadenemise probleemid.

Pindpinevus sõltub pindaktiivsete ainete olemasolust. Ühendid, mille lisamisel väheneb vedeliku pindpinevus (tensiidid, näiteks seep). **Märguvad pinnad**- *hüdrofiilsed pinnad* (ioonvõrega mineraalid- silikaadid, sulfaadid, metallioksiidid ja hüdroksiidid). **Mittemärguvad pinnad** - *hüdrofoobsed pinnad* (metallid, enamik molekulaarse struktuuriga orgaanilisi ühendeid). (Joonis 3) (A.Trikkel 2002:5)



Joonis 3 Vedeliku omadused

Kui vedelik märgab pinda, tõuseb ta kapillaarides ja poorides üles. Vedelikusamba kõrgus on määratud kapillaari raadiuse, vedeliku tiheduse ja pindpinevusega. (A.Trikkel 2002:5)

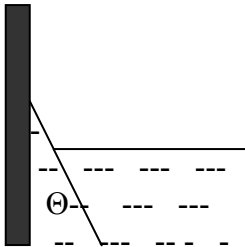
**Kohesioon** - vastastoimed vedeliku sees sarnaste molekulide vahel. Kohesioonijõud  $F_{koh}$ .

**Adhesioonijõud** - vedeliku molekulide ja tahke materjali pinna vaheline vastastoime (vesiklaas). Adhesioonijõud  $F_{adh}$ . (A.Trikkel 2002:5)

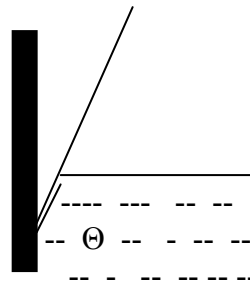
## 2.3 Märgamine

Vedeliku ja tahke keha piirpinnal esineb nähtus, mida nimetatakse *märgamiseks*. Märgamine tekib vedeliku ja tahke keha molekulide vastasmõjul ning põhjustab vedeliku pinna kõverdumise tahke keha lähedal. Vedeliku ja gaasi molekulide vahelised tõmbejõud võib jätta arvestamata. Kuid vedeliku ja tahke keha molekulide vahelist vastasmõju me enam arvestamata jätta ei saa. Tahke kehaga piirneva vedeliku pinna kuju sõltub sellest, kummad jõud, kas vedeliku ja tahke keha molekulide vahelised või vedeliku molekulide omavahelised jõud, on suuremad. (B.Buhhovtsev, J.Klimontovits, G.Mjakisev 1988: 87)

Esimesel juhul vedelik märgab tahket keha ning vedeliku pinna ja anuma seina vaheline nurk  $\Theta$  (äärenurk) on terav, vedelik tõmbub seina külge ehk vedelik sisaldab pindaktiivseid aineid (joonis 4). Teisel juhul vedelik tahke keha ei märga ja äärenurk  $\Theta$  on nüri vedelik eemaldub seinast ehk vedelik ei sisalda pindaktiivseid aineid (joonis 5). (B.Buhhovtsev, J.Klimontovits, G.Mjakisev 1988: 87)



Joonis 4 Pindaktiivsete ainetega



Joonis 5 Pindaktiivsete aineteta

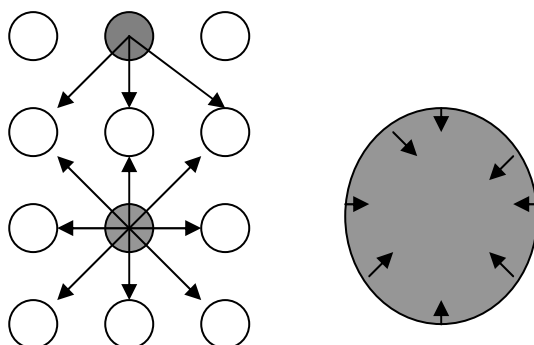
## 2.4 Kapillaarsus

Kapillaarsuse all mõistetakse tavaliselt vedeliku tõusmist või langemist peenetes torudes, nn kapillaartorudes ehk kapillaarides. Märgav vedelik (näiteks vesi klaastorus tõuseb mööda kapillaari üles ja seda kõrgemale, mida väiksem on toru raadius. Vaadates luubiga vedeliku nõgusat pinda kapillaartorus, näeme, et see sarnaneb toru seina külge kinnitatud ja allapoole väljavenitatud kummikelmega. Täieliku märgamise korral võib vedeliku kõverat pinda

peenetes torudes ehk kapillaarides lugeda poolkera pinnaks, mille raadius võrdub toru kanali raadiusega  $r$ . Kapillaari seinu mittemärgav vedelik (näiteks elavhõbe klaastorus) langeb kapillaaris sügavamale, võrreldes vedeliku nivooga laias anumal. Kehad, milles on palju peeneid kanaleid ehk kapillaare, imevad endasse vett ja teisi vedelikke – seda muidugi juhul, kui vedelik keha pinda märgab. Seetõttu imubki tint kuivatuspaberisse ja vesi kuivatamisel käterätikusse. Petrooleum tõuseb lambi tahti mööda üles kuni leegini. (B.Buhhovtsev, J.Klimontovits, G.Mjakisev 1988: 88)

## 2.5 Pindpinevus

$(\gamma, \text{J/m}^2)$ - energiahulk, mis on vajalik vedeliku pinna suurendamiseks või vähendamiseks ühe pinnaühiku võrra. Põhjustatud pinnal asuvate molekulide energiaülejäagist, võrreldes vedeliku sees asuvate molekulidega. Kuna pinnakihi molekulidele mõjuvad jõud on suunatud vedeliku sisse, võtab vedelikupiisk kera kuju.(Joonis 6)



Joonis 6 Vedelikus mõjuvad jõud



### 3. VEDELIKU PINDPINEVUSKOEFIITSENDI MÄÄRAMINE

#### 3.1 Pindpinevuskoeffitsendi määramise põhimõtted

Pindpinevus on iga vedeliku omadus (ka vedelas olekus gaaside ja metallide omadus). Pindpinevuseks nimetatakse vedeliku pindkile omadust avaldada vastupanu pinna suurenemisele. Selle nähtuse põhjuseks on vedeliku pinnal asuvate molekulide omavahelised tõmbejõud, mis on paralleelsed pinnaga. Vedeliku sees asuvatele molekulidele mõjuvad tõmbejõud 1,5- raadiuse kaugusel asuvate vedeliku molekulide poolt. Nende tõmbejõudude summa on null. Vedeliku pinnal asuvatele molekulidele mõjub naabermolekulide tõmbejõudude summana vedeliku pinnaga risti olev jõud, mis on suunatud vedeliku sisse. Nende molekulaarjõudude mõjul on vedeliku vaba pinnakiht kummikelme taoliselt pingule tõmmatud. Vedeliku pinna suurendamiseks peame pinnale tooma uusi molekule ja selleks tegema tööd mainitud jõu vastu. Tehtav töö  $\Delta A$  on võrdeline pinna suurenemisega  $\Delta S$ :  $\Delta A = \alpha \times \Delta S$  siit

$$\alpha = \frac{\Delta A}{\Delta S}$$

Siit järeldub, et **pindpinevuskoeffitsent**  $\alpha$  on võrdne tööga, mis on vajalik vedeliku pinna suurendamiseks ühe pinnaühiku võrra (ühikuks  $J/m^2$ ). Pindpinevuskoeffitsenti mõõdetakse ka jõuga  $F$ , mis mõjub ühikulise pikkusega vedelikupinna piirjoonele  $L$ :

$$\alpha = \frac{F}{L}$$

(ühikuks on  $N/m$ )  $1N/m = 1J/m^2$ .  $\alpha$  on antud vedelikule iseloomulik suurus ja sõltub temperatuurist (väheneb temperatuuri tõusuga), vedeliku puhtusest ja vedeliku pinnaga kokkupuutuvast gaasist. Tavaliselt mõõdetakse pindpinevuskoeffitsenti sama vedeliku küllastava auru või õhu suhtes, mis asub vedeliku pinna kohal. Kahe mitteseguneva vedeliku kokkupuutepinnal aga muutub pindpinevus aga tunduvalt. Vees lahustunud ainetest mõned

suurendavad (näiteks NaCl, tärklis, glütseriin), kuid enamik vähendab pindpinevust.(  
A.Trikkel 2002; H. Karik 2006)

### 3.2 Arvutuse näidis

MOUSSOL- APS- LV 3% AFFF A ja B class

*Algandmed*

$\varphi$  = tihedus (saadakse areomeetriga)  $\text{g/cm}^3$

$g$  = vabalangemise kiirendus ( $980 \text{ cm/s}^2$ )

$V$  = ühe tilga ruumala ( $\text{cm}^3$ )

$\pi = 3,14$

$d$  = büreti ava läbimõõt (cm)

Katseklaas –  $1\text{ml} = 1 \text{ cm}^3$

*Lahendus*

$\varphi = 1,000 \text{ g/cm}^3$

$V = 0,015 \text{ cm}^3$

$g = 980 \text{ cm/s}^2$

$\pi = 3,14$

$d = 0,5 \text{ cm}$

$$\alpha = \frac{\varphi \times V \times g}{\pi \times d} = J / m^2$$

$$\alpha = \frac{1,000 \times 0,015 \times 980}{3,14 \times 0,5} = 9,36 J / m^2$$

**Vastus:**

Vahuaine MOUSSOL- APS- LV 3% AFFF A ja B class pindpinevuskoefitsent on **9,36 J/m<sup>2</sup>**

**3.3 Katsete tulemused**

Tabel 1 Katse tulemused pindpinevuskoefitsendi võrdlemiseks

	Tihedus g/cm <sup>3</sup>	Tilga ruumala cm <sup>3</sup>	Pindpinevuskoefitsent J/m <sup>2</sup>
<b>Vesi</b>	0,985	0,099	60,86

**A-klassi vahuained sünteetiline**

Sthamex - AFFF 1%	1 000	0,021	13,10
Sthamex - Class A	1 000	0,022	13,37
Sthamex - AFFF f-15	1 000	0,020	12,48
M/51	0,990	0,033	20,39
Sampo	0,995	0,037	22,98

**B-klassi vahuained proteiin**

Fluor - Foamousse 3%	1 000	0,062	12,48
Polypetrofilm	1 000	0,059	36,82

**A ja B klassi vahuained**

Moussol - APS f - 15 AFFF	1 000	0,053	33,37
Moussol - APS - LV 3% AFFF	1 000	0,015	9,36
Moussol - APS - 3/3	1 000	0,032	19,35
Foamousse 3% Protein	0,990	0,080	49,43
Sthamex f - 15	1 000	0,024	14,98

Ruumi temperatuur

23°C

Vee temperatuur 25°C  
Vahuaine kontsentratsioon 0,5%

Tõstes vahuaine kontsentratsiooni 1%-ni paranes vaid vahutavus, pindpinevuskoeffitsent ei muutunud.

Tabel 2 Alternatiivainete pindpinevuskoeffitsendid

	Tihedus g/cm <sup>3</sup>	Tilga ruumala cm <sup>3</sup>	Pindpinevuskoefitsent J/m <sup>2</sup>
Konsentreeritud pesuvahend	1 000	0,032	19,97
Pesuvahend	1 000	0,034	21,22
Alternatiivne vahuaine	1 000	0,022	13,11

**Konsentreeritud pesuvahend (+Plus)** - Tootja OÜ MENLORD Hind poodides 10 EEK-i plastmass taaras pakituna 0,5 liitrisesse anumasse

**Pesuvahend** - Tootja OÜ FLORTO Hind poodides 12.50 EEK-i plastmass taaras pakituna 0,5 liitrisesse anumasse

Koostis: 15 – 30 % pindaktiivseid aineid, < 5 % konservant, lõhna- ja värvained.

**Alternatiivne vahuaine** – pindaktiivsete ainete segu. Ühe liitri hind ostes toorainet väikestes kogustes on 12 EEK-i liiter. Suuremates kogustes ja otse maaletoojalt kujuneb omahinnaks 9 EEK-i liiter

## 4. ALTERNATIIVSE VAHUAINE VÄLJATÖÖTAMINE JA SELLE KIRJELDUS

### 4.1 Kompositsioonide koostamise põhimõtted

Autor on eeskujuks võtnud välismaised treeningvahuained erinevatelt tootjatelt. Näiteks SIMUFOAM, mida toodab firma Chemguard ja Training Foam-U tootjaks firma Sthamer. Vahuained koosnesid veest, alküülsulfaadist, etoksülaadist, mitteioonsetest pindaktiivsetest ainetest, mõnel juhul ka amfoteersetest pindaktiivsetest ainetest. MSDS-i (ohutuskaart) võib leida internetist. Seega koostas autor sarnaseid segusid.

Tavaliselt koostatakse pesuainete, siis ka pindaktiivsete ainete segud katse-eksituse meetodil olles püstitanud konkreetse ülesande (näiteks pesutoime, hea vahutavus, vähene vahutavus jne.). Kõigepealt koostatakse nn. alussegu (lähtesegu) ja seda hakatakse parendama lähtudes kogemustest, teadmistest, ja ka hinnast. On olemas ka nn. optimeerimismeetod. See on informatiivsem, kuid töömahukam ja vajab ka lähteainete baasi.

Optimeerimismeetodit kasutavad vaid suurkorporatsioonid ja suure töö teevad ära arvutid, millesse on sisestatud suur hulk lähteainete andmeid. Arvutiprogrammi abil kõrvutatakse keemilisi ühendeid üksteisega ja saadakse selliselt soovitud tulemus.

#### 4.1.1 Vahu kordsuse ja püsivuse määramise meetoodika

Vahu kordsust ja püsivust saab mõõta erinevaid meetodeid kasutades. Põhinevad nad kõik mehhaanilisel põhimõttel. Näiteks loksuti (ASTM D3601-88), löökvenitamine (DIN 53902-1), Ross-Miles'i meetod (DIN 51395-1) või õhu puhumist ainesse. (Vahtude kordsus ja püsivus: 12.05.2009)

Autor kasutas oma töös Ross-Milesi meetodi modifikatsiooni käepäraste vahenditega. Vahu määramine toimus järgmiselt: Valmistati 1% lahused 100g destilleeritud vees. Segati blendriga (Masterchef 350) 10 sekundit ja valati kogu segu 1000 ml mõõtsilindrisse. Mõõdeti vahu kõrgus ja seejärel vahu kõrgus 5 minuti pärast, see on vahu püsivus. Teostati 3 paralleelkatset.

## 4.2 Alussegu

### 4.2.1 Alussegu valik ja katse tulemused

Eestis on saadaval 3 erineva CAS nr-ga naatriumlaurüüleetersulfaat (lüh. AES). Esimeses katses selgitati, kas nende vahuomadused on erinevad või on samad.

See katse oli eelkatseks et :

- 1) leida optimaalne kontsentratsioon- lahjendus segude analüüsiks
- 2) uurida, kas sarnase koostisega, aga erinevate CAS numbritega anuoonaktiivsed pindaktiivsed ained on omavahel segudes asendatavad.

Saadud kolmest erinevast ainest tegi autor erineva protsendiga lahused (0,5%, 1%, ja 3%), et välja selgitada parim lahjendus järgmisteks katseteks.(Tabel 3) Kõigil kolmel lahusel määrati vaht ja selle püsivus. Tehti lahjendus, segati lahust blendriga 10 sekundit. Blendri sisu valati 1000 ml mensuuri ja mõõdeti vaht (kõrgus). Uus mõõtmise teostati 5 minuti möödudes. Mõõtmisi teostati kolmel korral

Tabel 3 Alussegu valik

CAS number	katse1	5 min	katse2	5min	katse3	5min	
3088-31-1	325	300	350	320	350	300	
68891-38-3	450	420	475	450	450	425	0,5%
13150-00-0	450	430	475	440	450	420	

CAS number	katse1	5 min	katse2	5min	katse3	5min	
3088-31-1	460	425	475	430	450	400	
68891-38-3	425	410	425	415	400	390	1%
13150-00-0	450	430	475	450	430	410	

CAS number	katse1	5 min	katse2	5min	katse3	5min	
3088-31-1	500	470	525	500	500	480	
68891-38-3	475	445	475	450	475	450	3%
13150-00-0	450	450	450	445	450	450	

Jõuti järeldusele, et ei saa asendada lähtesegu ükskõik millise muu ainega isegi siis mitte, kui vaid süsinikühendite sisaldus on teine. Edasised katsed viiakse läbi 1% vahuainelahusega ja lähtesegu üheks anioonseks (vahtu andvaks) komponendiks valiti aine CAS numbriga 68891-38-3.

## 4.3 Mudelsegud

### 4.3.1 Mudelsegude valmistamine

Antud segude puhul lähtuti sellest, et tekitada **kõige suurem ja püsivam vaht** kasutades kättesaadavaid pindaktiivseid aineid. Selle jaoks valiti pindaktiivsed ained, lähtudes teadmisest, et anioonaktiivsed pindaktiivsed vahutavad kõige paremini ja nende segud annavad eriti häid tulemusi. Anioonaktiivsed pindaktiivsed ained **kombineeriti** omavahel erineva suhtega. (Tabel 4) Lisandina on kasutatud nn „foamboostereid“ ja vahu stabiliseerijaid

Tabel 4 Anioonaktiivsed pindaktiivsed ained kombineeriti omavahel erineva suhtega

Nr	AES %	LAS %	Lisand 1 20%-ümber-arvutus 100% aktiivainele	Lisand 2 20%
1	70	30	-	
2	30	70	-	
3	40	40	Kookosamidopropüülbetaiin	

4	40	40	Kookosamiidi DEA	
5	40	40	Rasvhappe alkohol	
6	40	40	Na-kokoamfoatsetaat	
7	40	40	Alküülpöglükosiid	
8	30	30	Kookosamiidi DEA	Müristüülamiinoksiid
9	30	30	Kookosamiidi DEA	Lauramiinoksiid
10			Segu 70 %	Alküülpöglükosiid 30%

- AES - Naatriumlaurüüleetersulfaat (anioonaktiivne aine)
- LAS - C<sub>13</sub> – C<sub>17</sub> alküülsulfonaat (anioonaktiivne aine) Na sool
- Segu (blend) - pindaktiivsete ainete segu ( Na-laurüüleetersulfaat, benseensulfoonhape C<sub>9</sub>-C<sub>11</sub>, parth-8 ja kokosamiidi dietanoolamiin)
- Kookosamiidi DEA - kookosamiidi dietanoolamiini mitteioonne pindaktiivne aine
- Rasvhappe alkohol - alküülpöglükosiid
- Lauramiinoksiid - C<sub>12</sub>-C<sub>14</sub> alküülamiinoksiid
- Na kookosamfoatsetaat - amfoteerne pindaktiivne aine
- Kookosamidopropüülbetaiin - amfoteerne pindaktiivne aine
- Alküülpöglükosiid - C<sub>8</sub>-C<sub>10</sub> rasvalkoholide alküülpöglükosiid mitteioonne, pindaktiivne aine
- Müristüülamiinoksiid

AES – alküüleetersulfaadid on tuntud hea vahutavuse poolest. LAS – sulfonaadid on suhteliselt odavad ja ka head vahutajad. „Foam booster´id“ on ained, mis suurendavad vahu mahtu, parandavad vahu kvaliteeti ja püsivust. Stabilisaatorid on ained, mis stabiliseerivad vahu.

Antud juhul kombineeriti neid lähteaineid selekteerimaks suurima vahu ja püsivusega kompositsiooni. Koostati erinevad segud, mis oleksid anioonaktiivse pindaktiivse aine poolest



rikkad, selleks kasutati AES ja LAS (suhteline, mitte ümberarvestatud 100 % ainele).  
 Lisandite kogus jäi vahemikku 0...40 % (ümberarvestatud 100 % aktiivainele)  
 Valitud pindaktiivsed ained olid kättesaadavad Eestis. Kõikides proovides on aktiivaine sisaldus 21 %, lahustiks destilleeritud vesi.

#### 4.3.2 Mudelsegudega sooritatud katsete eesmärgid ja tulemused

Alternatiivse vahuaine (kõige suurema ja püsivama vahuga) leidmiseks tehti 1 % lahendus (1g proovi + 99 g destilleeritud vett), segati lahust blendriga 10 sekundit. Blendri sisu valati 1000 ml mensuuri ja mõõdeti vaht (kõrgus). Uus mõõtmine teostati 5 minuti möödudes. Mõõtmisi teostati kolmel korral ja leiti keskmine. (Tabel 5)

Tabel 5 Parim mudelsegu

aine number	katse1	5 min	katse2	5min	katse3	5min	1%
1	500	500	520	520	520	520	
2	510	510	520	520	510	510	
3	500	500	510	510	500	500	
4	500	500	520	530	530	530	
5	510	510	520	520	510	520	
6	500	500	510	510	520	520	
7	480	480	500	500	460	460	
8	490	485	475	475	490	485	
9	490	485	510	510	490	490	
10	470	470	460	460	460	470	

Katsete tulemusele tuginedes võib väita, et isegi ilma lisanditeta (proov nr 1,2 tabelis 5) on tulemuseks püsiv ja suhteliselt suur vaht. Katsete tulemusel eristus kümnest vahuainest kaks, ainenumbritega 4 ja 5. Koostised ja protsendid on välja toodud tabelis 4. Tuginedes aga lähteainete maksumusele ja kättesaadavusele valis autor välja proovi number 4, mis koosneb 40 % AES- ist, 40 % LAS- ist ja 20% kookosamiidi DEA- st. Seda ainet on põhjust edasi uurida ja teha veel rida katseid, võrreldes seda päästkeskustes kasutusel olevate vahuainetega ning tuua ka paralleele poodides müügil olevate ainetega (nõudepesuvahend, autokeemia jne.).

## 4.4 Alternatiivne vahuaaine

### 4.4.1 Alternatiivse vahuaaine võrdlemine kasutusel olevate ainetega.

Autor toob veelkord välja kõige suurema ja püsivama vahuga mudelsegu katse tulemused (Tabel 6) ning võrdleb seda katse tulemustega, mis on läbi viidud päästkeskustes kasutusel olevate vahuainetega. (Tabel 7)

Tabel 6 Parim alternatiivne vahuaaine

aine number	katse1	5 min	katse2	5min	katse3	5min	
4	500	500	520	530	530	530	

Nagu tabeli 6 ja 7 võrdlemisel selgub on alternatiivvahuaainega tehtud katse edukam nii suuruse kui ka püsivuse seisukohalt. See on mõneti ka loomulik ja autor põhjendab seda sellega, et pääste keskkomandodes kasutusel olevatele vahuainetele on püstitatud palju suuremad nõudmised. Vahuainetele on juurde lisatud kilemoodustajaid kui ka tulepüsivust soodustavaid aineid, mis omakorda mõjutavad vahu suurust ja püsivust. Autori arvates ei oma need komponendid aga olulist osa õppevahu väljatöötamisel.

Tabel 7 Kasutusel olevate vahuainetete kordsus

aine number	katse1	5 min	katse2	5min	katse3	5min	
Fomtex AFFF 3% A	350	345	360	355	365	355	
Kiviõli VA (vene päritolu)	510	510	480	475	500	500	1%
Sthamex - class A	460	460	440	440	450	450	

Võrreldes tabelleid 6, 7 ja 8 selgub, et müügil olevate pesuainetega ei saa tekitada püsivat ja suurt vahtu. Kuna nad kõik sisaldavad aga pindaktiivseid aineid saab neid siiski kasutada märgajatena tahkete orgaaniliste ainete kustutamisel. Samas sisaldavad jaemüügi ained aga lisandeid, mis pole vahutavuse ja tule kustutamise seisukohast olulised või on isegi liigsed. Nad tõstavad kindlasti hinda ja autori seisukoht on, et edaspidistes töodes on mõistlik minna omakomponeeritud segudele. Seda väidet toetasid ka eelnevad katsed.

Tabel 8 Kommertstoodete kordsus

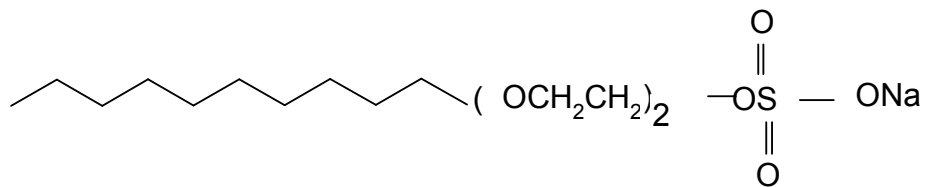
aine number	katse1	5 min	katse2	5min	katse3	5min	
<b>vahupesuaaine (vahu-lesu)</b>	220	190	200	180	210	190	
<b>nõudepesuvahend</b>	345	345	480	475	460	460	1%
<b>vannivaht (avon)</b>	480	480	470	470	470	470	
<b>Palmolive for men ZEN PARADISE</b>	490	490	480	480	490	490	
<b>Bio- autovaht PUHTAX</b>	455	455	450	450	455	455	

#### 4.4.2 Alternatiivse vahuaine pH taseme mõõtmine

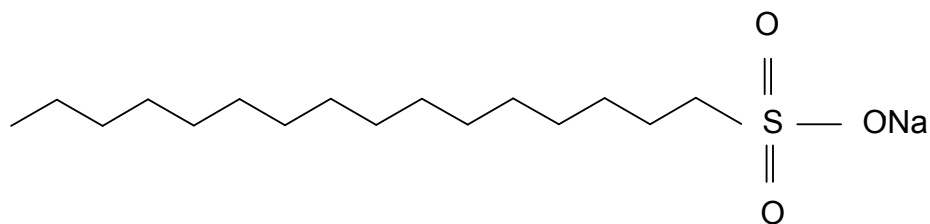
Igal uuel ainel, mis kokku segatakse ja mida on plaanis edaspidi kasutama hakata tuleb määrata ka pH tase. pH on selline suurus, mis näitab kas aine on happeline või aluseline. Skaala jaguneb 0-14. Kõik, mis jääb alla 7 on happeline ja kõik, mis on üle 7 on aluseline. Kas aine on happeline või aluseline, seda saab määrata mitmeti. On olemas indikaatorpaberid (mis ei ole väga täpsed) ja on ka digitaalsed mõõteseadmed (annavad tulemuse 1/10 täpsusega).

Mudelsegu nr 4 mõõtmiseks kasutas autor mõlemat varianti. Esmalt mõõdeti ainet indikaatorpaberiga pH – Fix 0-14, see andis tulemuseks **pH 10**. Järgmisena sooritas autor katse täpsema seadmega, Pocket pH – Meter Amarill, mis andis tulemuseks **pH 9,8**. Siit järeldub, et **mudelsegu nr 4 pH on 10**. Autorit hakkas huvitama, et kui kontsendraadi pH on 10 siis kui suur on vahulahuse pH. Selleks oli vaja mõõta vaid vee pH ja selle mõõtmise tulemuseks sai autor pH 8 mõõdetuna Pocket pH – Meter Amarill'iga. See on loogiline, sest vee pH on teatavasti 6-7, seega viibki lahjendus pH taseme alla!

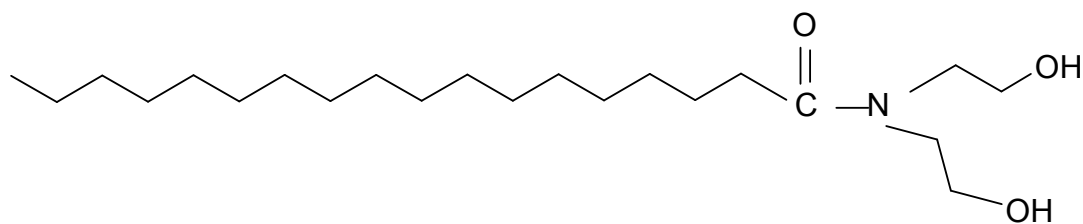
#### 4.4.3 Alternatiivse vahuaine keemiline koostis



#### Naatriumlaurüleetersulfaat (AES)



#### $\text{C}_{13} - \text{C}_{17}$ alküülsulfonaat (LAS)



**Laurüöldietanoolamiid, e. kookosamiid DEA**  $\text{C}_8 - \text{C}_{18}$ . (Mis on vahuaine ja selle keemiline koostis: 13.05.2009)

## 5. ALTERNATIIVSE VAHUAINE KATSETUS – ÕPPUS PÄRNU LENNUVÄLJAL 29.04.09

### 5.1 Õppuse eesmärk

Eesmärgiks oli korraldada Lääne-Eesti Päästkeskuse ja Kaitsejõudude Lennusalga vaheline õppus, testimaks mõlemapoolset valmisolekut metsakustutamiseks, harjutada lennuki suunamist maalt õigesse kustutussektorisse ning katsetada märgajana alternatiivse vahuaine kasutamist maastikupõlengutel. (Vt. LISA 2)

### 5.2 Õppuse planeerimine ja väliharjutus

Õppuse planeerimine algas Väike-Maarjas 23.04.2009 korraldatud Metsaseminari raames, mil Kaitsejõudude Lennusalga esindaja pakkus välja võimaluse teha koostööd, kuna lenduritel on vaja lennata teatud kogus normtunde.

Õppuse planeerimise täiendavaks sihiks oli katsetada alternatiivset vahuainet, visates 1% vahuainelahust lennukilt maapinnale saamaks teada pindala, mida saab kustutusainega katta. Lisaks sellele oli plaanis vaadelda ning võrrelda alternatiivse vahuaine kordsust, kuumapüsivust ja aine levimist põlevvedeliku pinnal, teiste vahuainetega.

Hinnangute andmiseks, oli kavandatud väliharjutus Pärnu Lennuväljal. Väliharjutuse kavandamisel oli teadlikult võetud sihid, avalikustada harjutusega seotud infot võimalikult palju ja saata teade õppusest kõikidesse regionaalsetesse päästkeskustesse, Päästeametisse ning Sisekaitseakadeemia Päästekolledžisse.

Eesmärk oli kaasata võimalikult palju spetsialiste, kes suudaksid hinnata alternatiivse vahuaine omadusi ja sihipärast kasutamist tulevikus.

### 5.3 Hindajatena viibisid kohal

**Andres Talvari** – Sisekaitseakadeemia Rakenduskeemia õppetooli juhataja-professor

**Eiko Tammist** – Lääne-Eesti Päästkeskuse tehnikabüroo juhataja

**Esimene Vahtkond** – Pärnu päästekomando (10-ne liikmeline)

**Karmo Kuru** – Lääne-Eesti Päästkeskuse planeerimisbüroo peaspetsialist

**Marek Martinson** - Ida-Eesti Päästkeskuse koolitusbüroo juhataja

**Tarvo Sõlg** – Lääne-Eesti Päästkeskuse planeerimisbüroo juhtivspetsialist

### 5.4 Probleemid ja tulemused

Riigis valitseva eelarve puudujäägi ja majanduslikult raske olukorra tõttu keelati tund enne õppuse algust lennukitel AN – 2 õhku tõusmine ja seoses sellega tuli kiirelt teavitada ka asjaosalisi (regionaalsed päästkeskused, päästeamet ja Sisekaitseakadeemia Päästekolledž) ning ümber korraldada õppuse tsenaarium. Sellest tulenevalt ka vähene osavõtjate arv.

#### 5.4.1 Tulemused

Vahuaine katsetamisel kasutati joatorusegistit ProPak. Joarõhk oli 7 bar-i. Määrati vahu kordsus erinevate kontsentratsioonide juures. Alternatiivse vahuaine andis hea kordsuse 3 % ja 6 % vahulahuse korral. 1% lahuse juures vahu kordsus halb, kuid märgamisomadused väga head.(Tabel 9)

Tabel 9 Vahu kordsus

	<b>AFFF-AR</b>	<b>Class A Stamex</b>	<b>Alternatiiv</b>	<b>FFFP-AR</b>
<b>1%</b>	Halb	Hea	Halb	
<b>3%</b>	Väga hea	Väga hea	Väga hea	Väga halb
<b>6%</b>	Väga hea	Väga hea	Väga hea	Väga halb

Vahuaine katsetamisel kasutati joatorusegistit ProPak. Joarõhk oli 7 bar-i. Põlevvedelikuks kasutati bensiini ja diiselkütte segu. Põlevvedeliku pinda 1 m<sup>2</sup>. Alternatiivse vahuaine kuuma püsivus ei olnud hea kuna vahuaine koostisesse ei ole lisatud aineid, mis seda tõstaks. (Tabel 10) Kindlasti aga saab kuuma püsivust tõsta edasise vahuaine modifitseerimise käigus.

Tabel 10 Kuuma püsivus

<b>AFFF-AR</b>	<b>Class A Stamex</b>	<b>Alternatiiv</b>	<b>FFFP-AR</b>
Hea	Hea	Halb	Väga hea

Põlevvedelikuks kasutati bensiini ja diiselkütte segu. Põlevvedeliku pinda 1 m<sup>2</sup>. Peale põleva pinna kustutamist prooviti uuestisüttimist ja kile moodustumist vedeliku pinnal. Parima tulemuse andis proteiin vahuaine FFFP-AR. (Tabel 11) Samuti vaadeldi leegi mõju tekkinud vahule. Alternatiivse vahuaine levivus põlevvedeliku pinnal ei olnud hea, kuna puudusid kilet tekitavad lisandid.

Tabel 11 Levivus põlevvedeliku pinnal

<b>AFFF-AR</b>	<b>Class A Stamex</b>	<b>Alternatiiv</b>	<b>FFFP-AR</b>
Halb	Halb	Halb	Väga hea

# KOKKUVÕTE

Käesolevas lõputöös on toodud lühike kokkuvõte vahuainete olemusest ja millised on need eripärad, mis mõjutavad ainete omadusi. Töö ülesandeks oli töötada välja uus ja odav vahuaine, mida on majanduslikult raskel ajal otstarbekas kasutada A-klassi vahuainena õppustel, ennetustöös ning märgajana tahkete põlevainete kustutamisel.

Lõputöö eesmärgiks oli muu hulgas anda ülevaade alternatiivsete vahuainete väljatöötamise lihtsusest ja/või keerukusest.

Analüüsitud erinevaid keemilisi aineid ja nende omadusi, millede blendimisel on saadud alussegu. Lisades sellele "foam booster'id" ja stabilisaatoreid on tulemuseks suure kordsuse, hea kvaliteedi, püsiva ning stabiilse vahuga aine.

**Tuginedes keemiliste ainete analüüsile ning teoreetilistele lähteseisukohtadele on autor seisukohal, et päästetöödel on tõhus kasutada märgajana nõudepesuvahendit. Esitades vahuainele kõrgemaid nõudmisi (näiteks - vahu kordsus, kvaliteet, püsivus, stabiilsus, hind...jne.) tuleb hakata aineid kokku segama, leidmaks nõuetele vastav alternatiiv. Arvestades riigi majanduslikult rasket olukorda on igati õigustatud innovatiivne ning kokkuhoiule orienteeritud lähenemine päästealaste vahendite arendamisel.**

Käesoleva Sisekaitseakadeemia Päästekolledži lõputöös leiab kajastamist vaid lühike ülevaade vahuainete väljatöötamise põhimõtetest ning vajalikest katsetest, mille sooritus on vajalik sobiliku aine leidmiseks. Kahtlemata antud töö tulemiks oleva vahuaine näol on tegemist vaid ühe võimaliku alternatiiviga.

**Antud lõputöö autoril on plaanis jätkata Väike-Maarja Päästekoolis alustatud, Sisekaitseakadeemia Päästekolledžis edasi arendatud ja veel lõpetamata teema uurimist, töötamaks välja kõikidele nõuetele vastavat uut vahuainet.**



## ZUSAMMENFASSUNG

Die Diplomarbeit wurde in der estnischen Sprache geschrieben und sie umfasst 38 Seiten. Die Zusammenfassung ist auch in der deutschen Sprache geschrieben worden. Beim Schreiben der Arbeit wurden verschiedene Lehrmaterialien, Lehrbücher in Estnisch, Englisch, Deutsch und Russisch und unterschiedliche Internetquellen benutzt.

Die Forschungsobjekte dieser Arbeit sind alternative Brandlöschschäume, ihre Ausarbeitung und ihr Einsatz beim Brandlösch der festen organischen Masse.

Das Ziel dieser Arbeit ist das übersichtliche und mit Schlussfolgerungen versorgte Material, das dem Leser Information über die Eigenschaften der verschiedenen Schaummittel gibt, aber auch über die alternativen Löschmittel, die man einsetzen kann, um das Brandlöschen effektiver zu machen.

Die Aufgabe der Diplomarbeit ist es herauszufinden, ob es möglich ist mit Flüssigkeiten, die Netzmittel für Herabsetzung der Oberflächenspannung enthalten, Brandbekämpfung effektiver zu machen. Daneben hat der Autor ein neues Schaummittel herausgearbeitet, mit dessen Einsetzen man Geldmittel sparen kann.

Die vorliegende Arbeit ist Aktuelle, weil bisher nur verhältnismäßig teure Schaummittel sowohl zur Ausbildung, als auch zum Voraushelfen und zum Feuerlöschen eingesetzt worden sind. Aber warum Mittel verschwenden?

Die Aktualität der Diplomarbeit ist auch das noch, das es früher in der Rettungsdienstschule noch niemand zum Thema der alternativen Schaummittel eine Abschlussarbeit geschrieben hat. Und heutzutage hat man wenig an die alternativen Löschmittel gedacht, mit denen man finanzielle Mittel im Bereich von Rettungsdienst sparen könnte.

## VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

1. M.Danilov, F.Devlisev, N.Jevtjuskin, I.Kimstats, Tuletõrje taktika I osa 1976 Tallinn
2. R.Tammet, Vahtkustutus, Pärnumaa päästeteenistus Pärnu
3. R.Tammet Vahuained Väike-Maarja Päästekool
4. A.Trikkel, Üldine keemia 2002 Tallinn
5. Vedeliku pindpinevuskoeffitsendi määramine  
<http://www.hot.ee/fyyslab/Lab.pindpin.pdf>, 14.04.2009
6. H. Karik Looduslik vesi ja hämmastavad imeveed 2006 Tallinn
7. D. Mabijs, R. Miller Foam and Foam Film
8. A.J. Wilson Foams: Physics, Chemistry and Structure London 1989
9. M.S. Showell Handbook of Detergents 2005
10. Vahtude kordsus ja püsivus <http://www.online-tensiometer.com/index.html>  
12.05.2009
11. Mis on vahuaine ja selle keemiline koostis  
[http://www.scienceinthebox.com/en\\_UK/glossary/surfactants\\_en.html](http://www.scienceinthebox.com/en_UK/glossary/surfactants_en.html) 13.05.2009
12. B.Buhhovtsev, J.Klimontovits, G.Mjakisev, Füüsika IX klassile, 1988 Tallinn

## TABELITE JA JOONISTE LOETELU

Tabel 1 Katse tulemused pindpinevuskoeffitsendi võrdlemiseks .....	19
Tabel 2 Alternatiivainete pindpinevukoeffitsendid .....	20
Tabel 3 Alussegu valik .....	22
Tabel 4 Anioonaktiivsed pindaktiivsed ained kombineeriti omavahel erineva suhtega .....	23
Tabel 5 Parim mudelsegu .....	25
Tabel 6 Parim alternatiivne vahuaine .....	26
Tabel 7 Kasutusel olevate vahuainete kordsus .....	26
Tabel 8 Kommertstoodete kordsus .....	27
Tabel 9 Vahu kordsus .....	30
Tabel 10 Kuuma püsivus .....	31
Tabel 11 Levivus põlevvedeliku pinnal .....	31
Joonis 1 Pindaktiivse aine ja vedeliku sees oleva õhu segunemine .....	10
Joonis 2 Märg ja kuiv vaht .....	10
Joonis 3 Vedeliku omadused .....	14
Joonis 4 Pindaktiivsete ainetega .....	15
Joonis 5 Pindaktiivsete aineteta .....	15
Joonis 6 Vedelikus mõjuvad jõud .....	16

## Lisa 1. Pindpinevuskoeffitsendi määramine tilgameetodil

Tilk rebib end toru otsa küljest lahti siis, kui tilga raskus pisut ületab tilga pindkile pindpinevusjõu, mis teda toru otsaga ühendab. Olgu tilga ruumala  $V$ , vedeliku tihedus  $\rho$ , siis tilga kaal  $P$  on:  $P = m \times g = \rho \times V \times g$ . Kui tilga raadius enne tilga äralangemist on  $r$ , siis tilga langemist takistav jõud on:  $F = \pi \times d \times \alpha$ , et tasakaalu korral peavad mõlemad jõud olema võrdsed, siis:  $P \times V \times g = \pi \times d \times \alpha$  millest

$$\alpha = \frac{\rho \times V \times g}{\pi \times d}$$

### **Töö käik.**

Töö eesmärk on määrata erinevate vahuainelahuste pindpinevuskoeffitsente tilgameetodil võrreldes neid kustutusveega.

Täidke bürett teatava tasemeni vedelikuga, laske natuke vedelikku välja voolata ja sulgege kraan. Pange kirja vedeliku nivoo büretis. Avage ettevaatlikult kraan, nii et vedelik tilkuma hakkaks, loetlege väljavoolavate tilkade arv  $n$  (võiks olla vähemalt 100 tilka), sulgege kraan ja märkige vedeliku nivoo büretis. Nivoode vahe kaudu leiate loetletud tilkade ruumala ja ühe tilga ruumala  $V$ . Korrake seda katset 3-4 korda ja arvutage keskmine  $V$ .

Korrake kirjeldatud katse erinevate vahuaine lahudega ja arvutage keskmine tilga ruumala  $V_1$ . Pärast katsete sooritamist laske vedelik büretist välja vastavasse anumasse ja peske bürett veega.

Tundmatu vedeliku tiheduse määramiseks kasutage areomeetrit. Valage vedelik mensuuri ja leidke sobiv areomeetri anum, mis jääb ujuma nii et vedeliku pind on areomeetri skaalas (Ettevaatust! Ärge laske areomeetril põhja kukkuda! Läheb kergesti katki.) Arv, mida skaalast maha loete ongi vedeliku tihedus  $\text{kg/m}^3$ . (Vedeliku pindpinevuskoeffitsendi määramine: 14.04.2009)

## Lisa 2. Alternatiivse vahuaaine katsetus-õppus Pärnu Lennuväljal 29.04.09

ÕPPUSTE CD



## ***SISEKAITSEAKADEEMIA***

# **PÄÄSTEKOLLEDŽ**

Mina, Eiko Tammist, päästekolledži päästeteenistuse eriala 4. kursuse üliõpilane tõendan, et kõik lõputöö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, põhimõttelised seisukohad, kirjanduslikest allikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

\_\_\_\_\_ 2009 \_\_\_\_\_  
(allkiri)

### **LÕPUTÖÖ VASTAB KEHTIVATELE NÕUETELE**

Juhendaja \_\_\_\_\_  
(ees- ja perekonnanimi) \_\_\_\_\_  
(allkiri)

### **KAITSMISELE LUBATUD**

Päästekolledži direktor:

\_\_\_\_\_ (ees- ja perekonnanimi) \_\_\_\_\_ (allkiri)

\_\_\_\_\_ 2009