

Fizika in kemija hidravličnega frakcioniranja

Mišo Alkalaj^a, Rafael Mihalič^b

Ko so ZDA do 1990tih let več ali manj izrabile vse konvencionalne zaloge naravnega plina, se je industrija vse bolj množično lotila zalog metana v globljih slojih peščenjakov (*tight gas*) in v globokih skrilavcih (*shale gas*). (Globalno in v ZDA je tudi porastel interes za črpanje surove nafte iz globljih, teže dostopnih nahajačič - "*tight oil*", "*shale oil*" - a ker se bomo tu posvetili le pridobivanju naravnega plina, specifičnih tehnologij za pridobivanje surove nafte iz podobnih virov ne bomo več omenjali). Leta 2000 je metan iz teh nekonvencionalnih virov pokrival le 1% porabe v ZDA, leta 2010 je presegel 20%, do leta 2035 naj bi pa zagotavljal 46% naravnega plina v ZDA.

Zaradi vse večje ponudbe plina iz novih virov so maloprodajne cene naravnega plina v ZDA po letu 2008 upadle za od 16 do 30% (sezonsko se spreminjajo), cene za industrijo pa celo do 66%.¹ Zaradi večje (in cenejše) ponudbe naravnega plina so postale komercialno zanimive plinske elektrarne, posledično se je povečala ponudba električne energije, ki se je tudi pocenila, za industrijske porabnike do 50%.² Cenejša energija je povzročila ponovno rast proizvodnih dejavnosti, tako da govorimo kar o "*shale gas revolution*" v ZDA. Zaradi sedaj že bistveno cenejše energije so v ZDA pričela seliti svoje obrate tudi evropska podjetja, med večjimi so BASF, Royal Dutch Shell³, Siemens, Voestalpine⁴, itd.

Tudi na ozemlju EU je najti velike možne zaloge nekonvencionalnega plina v globokih peščenjakih ter skrilavcih (čeprav manj kot v ZDA), a članice EU jih zelo malo izkoriščajo. Poglavitni razlog, da ostaja EU ključno odvisna od konvencionalnega naravnega plina je omejujoča zakonodaja in predvsem močno lobiranje okoljevarstvenih skupin proti vsakršnjem "frackingu". Te imajo v EU bistveno več vpliva kot v ZDA in so, na primer, že dosegle, da je Francija povsem prepovedala hidravlično frakcioniranje⁵, priporočila za ostrejšo regulacijo pa izdaja tudi Evropska Komisija⁶.

V ZDA so okoljevarstvene skupine izražale v osnovi enake ugovore proti hidravličnemu frakcioniranju, vendar ga tam niso uspele omejiti tako kot v EU. Ker imamo tudi v Sloveniji možne zaloge nekonvencionalnega plina, ki je dosegljiv le z metodami hidravličnega frakcioniranja, in ker se tudi pri nas najdejo organizirani okoljevarstveniki, ki bi želeli izkoriščanje takih zalog preprečiti, si oglejmo fizikalne in kemijske vidike te tehnologije in skušajmo oceniti, ali je res tako okoljsko sporna kot trdijo okoljevarstveniki - katerim v EU oblasti očitno verjamejo, v ZDA pa ne.

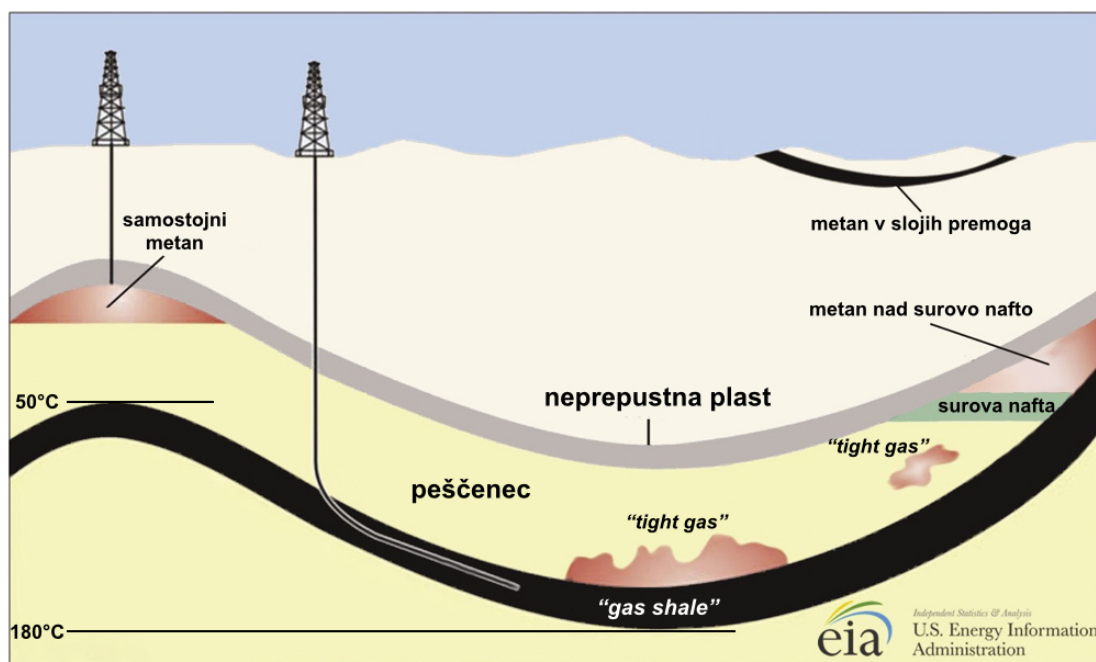
^a vodja Centra za mrežno infrastrukturo, Institut "Jožef Stefan" (miso.alkalaj@ijs.si)

^b predstojnik Katedre za elektroenergetske sisteme in naprave, Fakulteta za elektrotehniko (rafael.mihalic@fe.uni-lj.si)

A najprej si oglejmo nekaj temeljnih podatkov o tem, kako naravni plin nastaja in kje se zadržuje.

Kako nastane naravni plin

Metan nastaja tudi v slojih premoga, a te zaloge so premajhne za izkoriščanje ter so predvsem nadloga (metanske eksplozije v rudnikih). Naravni plin (pa tudi nafta) pretežno nastaja z razpadanjem organskih snovi v globokih skrilavcih (*gas shale*), kjer je temperatura med 50°C in 180°C. Plin se potem predvsem skozi geološke razpoke, pa tudi skozi bolj prepustne peščenjake, seli v višje plasti. Tam se pod neprepustno plastjo kamenin nabira kot konvencionalno polje. Kadar se migracija plina ustavi globlje, zaradi neprepustnih slojev peščenjaka, govorimo o "*tight gas*". Od 40 do 70% plina pa ostane v globokih skrilavcih in temu rečemo "*shale gas*".



Shematski prikaz generacije naravnega plina

Tehnologija črpanja nekonvencionalnega plina in njena zgodovina

Plina, ki ostane ujet v globokih peščenjakih ali skrilavcih, ne moremo enostavno izčrpati skozi vertikalno vrtnino. Za začetek potrebujemo t.i. **usmerjeno vrtnanje**, ki je sicer znano že iz 1920tih let, ko so se med naftnimi podjetji v ZDA razmnožile tožbe, ker je kdo vrtil v sosedovo polje. Po letu 1935 je postala tehnologija usmerjenega vrtnanja dovolj natančna, da jo je pričela naftna industrija redno uporabljati: z natančnim nadzorom smeri

vrtanja so se lahko izognili tršim kamninam, iz doline vrtali v polje pod goro, ali iz enega vrtalnega stolpa navrtali več razmaknjenih vrtin v isto polje ter s tem povečali proizvodnjo.

Hidravlično frakcioniranje v strogem pomenu je tehnologija, ki omogoči ustvarjanje razpok v kamninah s plinom (ali surovo nafto), ki je v nekonvencionalnih virih tipično ujet med horizontalnimi sloji. V horizontalno vrtino pod pritiskov vtiskajo tekočino – pri sodobnem črpanju nekonvencionalnih virov plina je to vedno voda oz. pregreta para – in s tem povzročijo, da okolišnja kamnina razpoke. V razpoke potem vtisnejo pesek, da se ne morejo zapreti. Tehnologija je sicer znana od leta 1947, redno so jo pričeli uporabljati po 1950, tudi za sproščanje zalog surove nafte v horizontalnih skladih. Sicer so hidravlično frakcioniranje najpogosteje uporabljali v skladih premoga, da so sprostili in izčrpali metan ter vodo predno so pričeli kopati premog. S tako tehnologijo je bilo mogoče pridobivati tudi naravni plin, a količine niso bile komercialno zanimive.

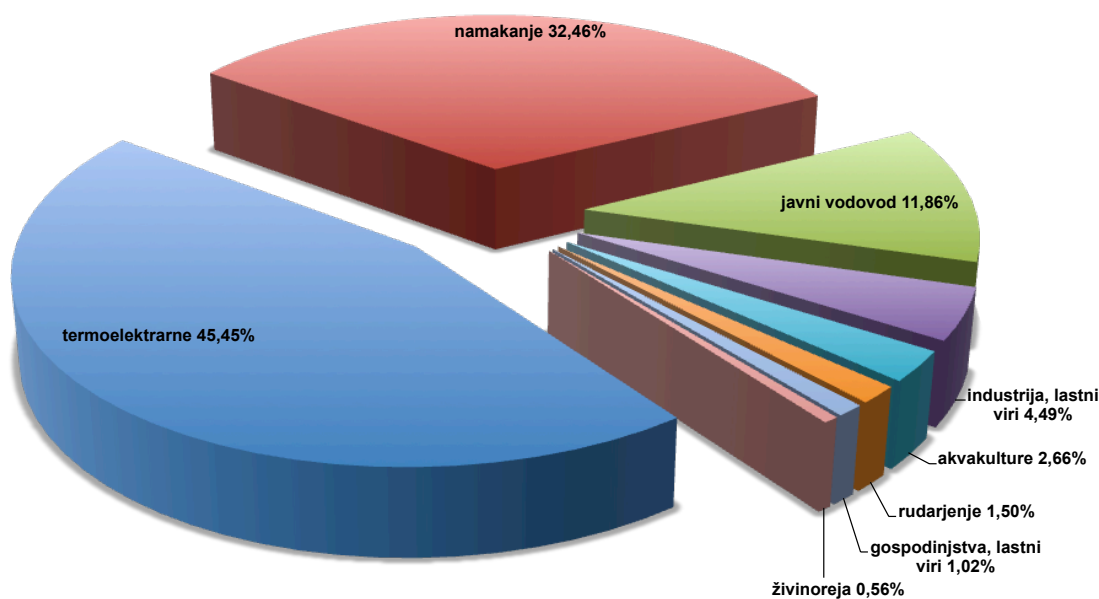
Tehnologija, ki je omogočila “plinsko revolucijo” v ZDA, je posodobljena izvedenka že znanih metod, t.i. **množično** ali **visoko-volumsko hidravlično frakcioniranje**, ki v razpoke vtisne več kot 136 ton peska (300.000 ameriških funtov). Za pridobivanje nekonvencionalnega plina so jo prvič preizkusili leta 1968, redno je v uporabi od 1973, a je postala zares komercialno zanimiva v 1990tih letih, zaradi hitrega upadanja ameriških zalog konvencionalnega plina.

Dejanski postopki visoko-volumskega hidravličnega frakcioniranja so seveda bolj zapleteni, mnoge tehnične podrobnosti so strogo varovana poslovna skrivnost izvajalcev, saj ti tipično zaslužijo v deležu od izčrpanega plina in zato bolj učinkovita tehnologija pomeni večji dobiček. Vendar nam tak dokaj posplošen pregled tehnologije omogoča, da ocenimo najpogostejše ugovore okoljevarstvenikov.

1. Hidravlično frakcioniranje zahteva veliko sladke vode

Podatek, da tipična operacija porabi od 4.500 do 13.200 m³ vode, veliki projekti pa tudi do 19.000 m³, seveda daje občutek, da gre za okoljsko pomembne količine. Vendar moramo porabo sladke vode v hidravličnem frakcioniranju primerjati s porabo v drugih dejavnostih.

Geološka služba ZDA (USGS) redno objavlja letne preglede porabe sladke vode po različnih dejavnostih. Tako lahko v poročilu USGS za leto 2010⁷ preberemo, da so ZDA v tem letu največ sladke vode porabile za hlajenje v termoelektrarnah - 45,45%; za namakanje 32,46%; v javnih vodovodih 11,86%; iz lastnih virov industrije 4,49%; za gojenje v akvakulturah 2,66%. Hidravlično frakcioniranje je zajeto v kategoriji “rudarjenje”, s skupno porabo 1,5%; in hidravlično frakcioniranje ni niti največji porabnik med rudarskimi dejavnostmi, ta čast pripada pridobivanju kaolina (surovina za izdelavo porcelana).



Grafični prikaz relativne porabe sladke vode v ZDA, USGS 2010

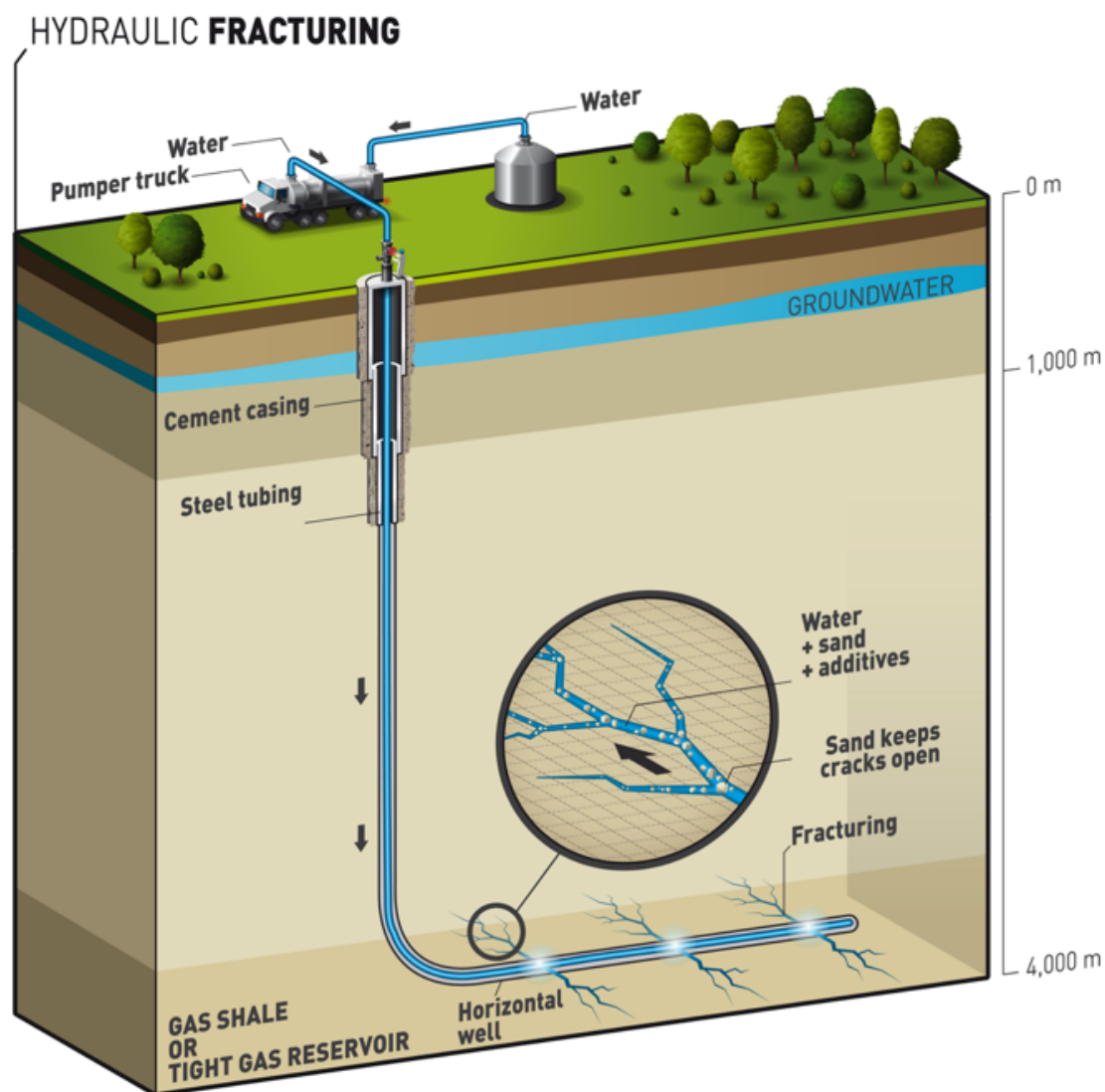
2. Hidravlično frakcioniranje onesnažuje podtalnico

V sodobnem postopku hidravličnega frakcioniranja s površne najprej izkopljejo in izvrtajo širši vodnjak (tipično v več stopnjah, premer vsake naslednje vrtine oz. cevi je nekaj manjši), skozi sloje s podtalnico (tipična globina do 500 m) do neprepustnega sloja (tipično v globini 1000 m). Pred nadaljevanjem ta del zalijejo z nepropustnim betonom. Šele po tem izvrtajo vertikalno vrtino do plinorodnih slojev in cev zaščitijo z vbrizgavanjem betona. Izvajalci ta del operacije pogosto predstavljajo kot ekološki ukrep, ki prepreči iztekanje frakcijskih kemikalij, a je to le posledično: najvišji razširjeni del je tehnološko nujen, saj vbrizgavanje tekočine oz. pregrete pare v cev širšega premera zagotavlja večjo hitrost v spodnjem tanjšem delu; in seveda, tako najvišji "vodnjak" kot vertikalna cev bosta še leta dovajala metan iz globin, zato morata biti trdno in trajno zgrajena.

Ob taki strukturi vertikalne vrtine je seveda zelo malo verjetno, da bi v podtalnico prišle katere od kemikalij, ki jih pri frakcioniranju uporabljajo, saj prično z vbrizgavanjem šele po tem, ko je vertikalni del v celoti dokončan.

V ZDA, kjer je hidravlično frakcioniranje najbolj razširjeno, je uradno registriranih preko 94.000 lokacij, kjer še izvajajo frakcioniranje ali izkoriščajo že operative vrtine. Kljub mnogim obtožbam bi lahko po do danes znanih podatkih iz dejanskih meritev lahko našli le malo primerov⁸, kjer so kemikalije iz frakcioniranja zaznali tudi v podtalnici⁹, vendar vedno pod kritično mejo, zato take obtožbe na sodiščih tipično izgubijo¹⁰. V vseh znanih primerih (sicer vedno podkritičnega) onesnaženja je bil krivec neustrezen beton, ki ni zadoščal zahtevam naročnika¹¹ in v vseh takih primerih je izvajalec vrtino

saniral. Poleg tega so se v zadnjem času pojavile nove tehnologije, ki že sedaj zelo nizko verjetnost onesnaženja podtalnice še bistveno znižajo¹².



Posplošen prikaz vrtine

Znanstveno korektno seveda ne moremo avtoritativno trditi, da se kritično onesnaženje podtalnice s kemikalijami iz postopka hidravličnega frakcioniranja sploh ne more pripetiti. A do sedaj se ni. Težko bi našli industrijsko dejavnost, ki ima glede onesnaženja okolja tako ugodno statistiko kot do sedaj hidravlično frakcioniranje.

Po drugi strani vsaka prisotnost katere od kemikalij v podtalnici ni nujno onesnaženje, še manj posledica frakcioniranja. Sodobne analitske metode omogočajo detekcijo zelo majhnih količin iskane substance, tudi samo nekaj molekul. Ker so (kot bomo pozneje videli) mnoge s frakcioniranjem povezane kemikalije v uporabi tudi v mnogih drugih procesih, je seveda neizogibno, da so marsikje prisotne v okolju in lahko zaidejo tudi v podtalnico – a to še ni dokaz, da jih je tja vneslo frakcioniranje.

3. Hidravlično frakcioniranje povzroči pronicanje metana v podtalnico

Med nasprotniki "frackinga" je postala ta trditev še posebno priljubljena po predvajanju filma **Gasland**¹³, v katerem je videti posnetek, kjer voda iz pipe zagori. Avtor filma **Josh Fox** je celo javno priznal¹⁴, da je "gorečo vodo" posnel v okrožju Weld v Koloradu, daleč od kakršnihkoli lokacij za hidravlično frakcioniranje. Kljub temu nasprotniki "frackinga" še vedno ponavljajo, da postopek onesnažuje podtalnico z metanom, čeprav potrjenih primerov kakorkoli kritičnega onesnaženja podtalnice ni.



Popularni prizor iz filma Gasland

Prisotnost metana v podtalnici še zdaleč ni redka in ni povezana s hidravličnim frakcioniranjem. Metan se marsikje naravno tvori v površinskih slojih in zato tudi pronica v vodo. Večje onesnaženje lahko povzroči kakršnakoli poškodba slojev, tudi, na primer, pri vrtanju za toplotne črpalke, vodne vire, ipd. Metan se nabira v slabo izoliranih podzemnih rezervarjih za vodo, zato pri vodovodu iz lastnega vira "goreče pipe" niso nič posebno neobičajnega. To je razlog, da se na internetu in včasih tudi v drugih medijih pojavijo posnetki goreče vode iz pipe, kot krivca pa seveda proglasijo hidravlično frakcioniranje.

4. Hidravlično frakcioniranje povzroča potrese

Kot mnoge trditve poklicnih okoljevarstvenikov tudi ta ni v celoti izmišljena - hidravlično frakcioniranje *lahko* povzroči tresenje zemlje. Vendar "pozabijo" omeniti, kako močni so lahko ti tresljaji: najbolj skrajni primeri niso presegli stopnje 3 po Mercallijevi lestvici in še ti so se pripetili le v posebnih okoliščinah, kjer so hidravlično frakcioniranje izvajali blizu geološke

prelomnice (edini potrjen primer potresa zaradi frakcioniranja, pri katerem so prebivalci tresenje tal zaznali, se je zgodil v bližini mesta Poland v ameriški zvezni državi Ohio, kjer so vrtali v predkambrijske sloje, ki so polni geoloških razpok¹⁵).

Vsaka odstranitev ali dodajanje materiala v podzemne sklade povzroči tresljaje - črpanje vode ali nafte, kopanje premoga, ter seveda tudi hidravlično frakcioniranje. Vendar je take tresljaje mogoče zaznati le z občutljivimi seizmološkimi napravami in ne morejo povzročiti nikakršne škode.¹⁶

Ni mogoče znanstveno trditi, da ne bo hidravlično frakcioniranje v posebno neprimernem okolju nekoč povzročilo hujšega potresa, z merljivo materialno škodo - ampak do sedaj se to ni zgodilo, tudi v na veliko propagiranem primeru iz Ohia ne.

5. Hidravlično frakcioniranje uporablja preko 750 različnih kemikalij, mnoge so strupene ali karcinogene, večina jih ostane v vrtini

Najprej se moramo zavedati, da 98% - 99,5% snovi, ki jih pri hidravličnem frakcioniranju vtisnejo v zemljo, predstavljata voda (v strokovni terminologiji "base carrier fluid") in pesek (»proppant«). V preostalem 0,5 - 2% - če upoštevamo vse možne kemijske snovi v vseh operacijah - je res lahko preko 750 kemikalij, a ta številka je tudi nekoliko zavajajoča. Sredstva, ki jih pri "frackingu" uporabljajo, so namreč industrijski preparati (mnogi enaki kot pri pridobivanju surove nafte), ki poleg potrebne aktivne substance vsebujejo še dodatke za stabilizacijo, trajnost, ipd. - ti so seveda pri različnih proizvajalcih različni, in če vse seštejemo, res dobimo preko 750 različnih kemikalij. Na primer, ena od aktivnih substanc, ki jih uporabljajo pri hidravličnem frakcioniranju je etilen glikol, a kot nam pove že pregled ponudbe antifrizov za avtomobile, lahko komercialne mešanice vsebujejo mnoge različne dodatke.

Podjetja, ki izvajajo frakcioniranje, so pred začetkom komercialnega črpanja plina dolžna objaviti vse snovi, ki so jih v procesu uporabila (na primer, ***FracFocus Chemical Disclosure Registry: What Chemicals Are Used***¹⁷ ali ***Marcellus Drilling News: List of 78 Chemicals Used in Hydraulic Fracturing Fluid in Pennsylvania***¹⁸). Na osnovi teh obveznih objav je ameriška agencija za zaščito okolja (EPA) objavila spisek uporabljenih aktivnih snovi¹⁹ - 78 jih je vseh skupaj.

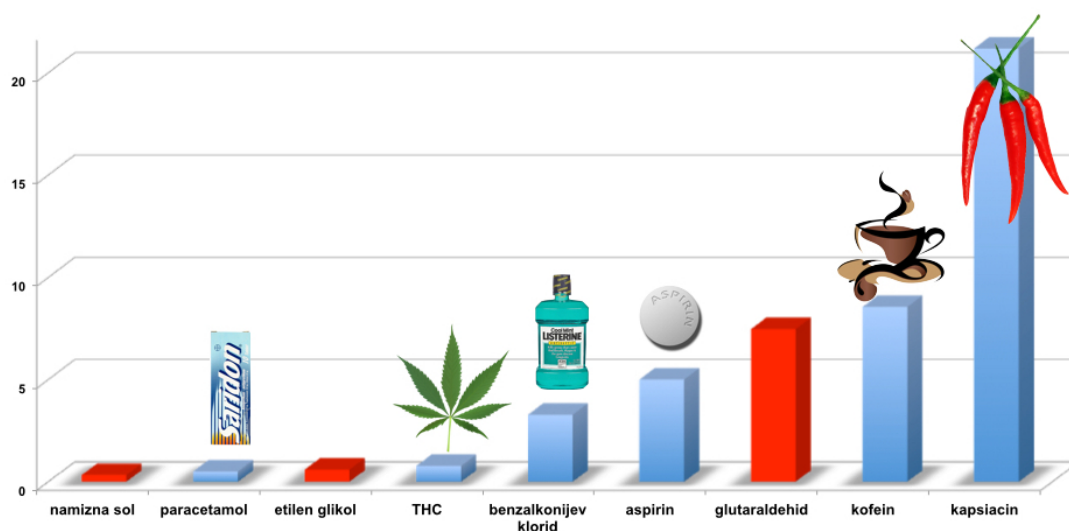
Če se omejimo le na potrebne aktivne kemikalije, ki jih uporabljajo pri hidravličnem frakcioniranju (in izpustimo vodo ter pesek), lahko te po njihovi funkciji razdelimo v 12 tipov. Vsi so opisani; v 3. koloni so navedene nekatere od najbolj pogosto uporabljenih substanc, s podatkom o toksičnosti (LD50, podgana, akutno, oralno); v 4. koloni so preparati, ki jih vsakodnevno uporabljamo doma in vsebujejo iste kemikalije. Pričujoči spisek aktivnih substanc, ki se uporabljajo v hidravličnem frakcioniranju, seveda še zdaleč ni

popolen, vendar je mogoče iz podrobnejših pregledov (ali spiska EPA) videti, da večino takih kemikalij najdemo v povprečni hiši.

tip	funkcija	Primeri (LD50 mg/kg)	najdemo tudi v
kislina	razgradi kamnino, načne razpoke, čisti cevi in perforacijo pred vbrizgavanjem peska	solna kislina (>90)	v želodcu
biocid	sredstva za uničevanje bakterij, alg in plesni, ki lahko povzročijo korozijo cevi	glutaraldehyd (134) amonijev klorid (366)	mehčalec perila prostorski deodoranti
gel	zgosti vodo, da je v njej mogoče suspendirati pesek	guar (9400) etilen glikol (4700) hidriran naftni destilat (>5000)	zobna pasta antifriz, zavorno olje motorna olja
“breaker”	zagotavlja zadržan razpad gelov (da se pesek sprost v razpoke)	magnezijev oksid (3870) natrijev klorid (3000) amonijev persulfat (689)	tablete proti zgagi namizna sol barve
stabilizator gline	prepreči nabreknenje in prenos v vodi raztopljene gline	holin klorid (3400)	v hrani za piščance
“crosslinker”	zagotavlja stabilnost viskoznosti tekočine pri različnih temperaturah	borova kislina (3500) boraks (4500)	čistilo za umetne zobe dezinfektanti
sredstvo proti trenju	zmanjša trenje med vodo (s peskom) in stenami cevi	poliakrilamid (150 – 413)	vazelin
nadzor kovin	se veže s kovinami/oksidi v vodotopne snovi ter s tem prepreči njihovo izločanje	citronska kislina (5040) ocetna kislina (3310)	limona solatni kis
anti-emulgator	razloči emulzije npr. vode in olj	izopropanol (5045)	čistila za pohištvo
“buffer”	prilagaja pH (kislost-bazičnost) in s tem zagotavlja učinkovitost drugih aditivov kot “breakers” in “crosslinkers”	natrijev lavril sulfat (1288)	šampon za avto
preprečevalec plaka	prepreči odlaganje naslag na stenah cevi, v perforacijah in razpokah	natrijev polikarboksilat (> 5000)	čistila, detergenti
surfraktant	zmanjša površinsko napetost tekočine	etanol (9000)	alkoholne pijače

Seveda so nekatere kemikalije, ki se uporabljajo v hidravličnem frakcioniranju, toksične – dejansko to velja celo za vodo: povprečna smrtna doza LD50 za vodo je 90 g/kg telesne teže – ali, za povprečno odraslo osebo teže 70 kg je to 6,3 litra. Za občutek, kako nevarna je lahko določena kemikalija torej ni dovolj le vedeti, ali je toksična, ampak tudi v kakšni dozi.

Med bolj strupenimi kemikalijami, ki jih uporabljajo v hidravličnem frakcioniranju, je etilen glikol: LD50 (oralno) je od 1650 mg/kg (pri mačkah) do 4700 mg/kg (podgane)²⁰ – po občutljivosti smo ljudje podobni mačkam²¹. Aspirin®, ki ga rutinsko uporabljamo proti bolečinam, ima LD50 200 – 1700 mg/kg²²; kofein v naši vsakdanji kavici pa 117 - 230 mg/kg.



Grafična primerjava relativnih toksičnosti (1/LD50)

Od prikazanih snovi se pri hidravličnem frakcioniranju uporabljajo namizna sol, etilen glikol in glutaraldehid. Kapsiacin je aktivna snov v pekočih paprikah; benzalkonijev klorid je običajno sredstvo za dezinfekcijo v ustnih vodih, šamponih, gelih za tuširanje, ipd.

6. Odpadna voda onesnažuje okolje

Po zaključku procesa ustvarjanja razpok in vnašanja peska skušajo izvajalci izčrpati čim več vode, ki je ostala v vrtini. Uspeh je odvisen od globine vrtine in drugih danosti, postopek odstrani od 30% - 70% odpadne vode. Poleg vode predstavlja največji delež tega odpadka raztopljena glina in nekatere druge vodotopne soli - te v postopku frakcioniranja zadržujejo v suspenziji, da se ne bi odlagale ter mašile razpok, a kemikalije, ki to zagotavljajo, slej ali prej izgubijo učinkovitost, zato je za večjo produkcijo vrtine bolje izčrpati čim več te tekočine. Seveda odpadna voda vsebuje ostanke kemikalij iz postopka frakcioniranja in tudi snovi, ki se izlužijo iz skrilavcev, med katerimi so lahko nekatere radioaktivne.

Izvajalci te odpadne vode ne spuščajo v okolje, ampak jo shranjujejo v posebnih bazenih in po zaključku operacij odpadno vodo prepeljejo v obrat za dekontaminacijo. V ZDA (in marsikje drugje po svetu) je namreč odpadna voda iz hidravličnega frakcioniranja uradno označena kot industrijski odpadek, s predpisanim postopkom odstranjevanja.²³

Seveda se lahko zgodi, da odpadna voda iz hidravličnega frakcioniranja vseeno uide v okolje, zaradi napake v tesnenju cevi, konstrukciji zadrževalnega bazena, ali ker se prelije iz prenapoljenega bazena. Dejansko je do sedaj znanih 6 takih primerov (vsi so se zgodili v Pensilvaniji, od tega trije na eni lokaciji)^{24 25 26}, povzročitelji so bili obsojeni na visoke kazni. Ob preko 94.000 registriranih vrtinah v ZDA je torej to tveganje manjše kot pri veliki večini povsem legalnih industrijskih dejavnosti, ki ne pritegnejo pozornosti okoljevarstvenikov.

Leta 2004 je ameriška Agencija za zaščito okolja (EPA) objavila študijo o možnih tveganjih kontaminacije podtalnice, ki ji prinaša hidravlično frakcioniranje (v tej študiji so se omejili na posege v sklade premoga)²⁷. Zaključek študije je, da postopek v najslabšem primeru predstavlja majhno tveganje za onesnaženje podzemnih vodnih virov.

Kot pri drugih možnih tveganjih hidravličnega frakcioniranja tudi za odpadno vodo ne moremo zagotoviti, da se ne more izliti v okolje in povzročiti onesnaženja. A do sedaj so bili taki dogodki izjemno redki in nikoli niso povzročili hujših, neodpravljivih posledic.

Zaključek: filozofski premislek

Ni vprašanje, ali hidravlično frakcioniranje prinaša tudi določena tveganja - vsaka nova tehnologija jih. Spraševati bi se morali, ali so koristi večje od škode. Vendar se je pri ocenjevanju *cost/benefit* novih tehnologij naša družba v zadnjih desetletjih močno spremenila.

Okoljski zadržki glede *možnih* posledic novih tehnologij vse bolj omejujejo razvoj človeške civilizacije, ugotavlja francoski filozof **Pascal Bruckner** v svoji knjigi "Fanaticizem apokalipse"²⁸ (Brucknerjevo predstavitev knjige si lahko ogledate tukaj <https://www.youtube.com/watch?v=nov49mFsvyc>). Bruckner se ne sprašuje, ali so sodobni okoljski strahovi znanstveno utemeljeni. Ugotavlja pa, da se je odnos družbe – oz. tistega dela, ki se vidi kot "okoljsko zaveden" in se pod pritiskom okoljevarstvene propagande širi – do okoljskih problemov spremenil. Sodobni politični trend je, da je treba za kakršnokoli ceno preprečiti vsako, tudi samo hipotetično grožnjo obstoječe ali bodoče tehnologije. Ni se več dovoljeno spraševati, ali prednosti presegajo hipotetično škodo, še manj, ali je hipotetična škoda sploh znanstveno utemeljena. Tak pristop na osnovi t.i. "načela previdnosti" je radikalno nasproten zgodovinskemu odnosu človeštva do tehnologije, ki je dejansko privedel do današnje visoke kakovosti življenja, najvišje v celotni človeški zgodovini. Ali, če Brucknerjevo temeljno misel interpretiram po svoje: če bi se

naši daljnji predniki tako strogo držali "načela previdnosti" kot to od današnje družbe pričakujejo poklicne okoljevarstvene skupine, bi danes še vedno sedeli na vejah in premlevali, ali je zares varno stopiti na tla. Kar seveda zastavlja vprašanje, ki pa zares zadeva bodočnost naše civilizacije: kako bomo lahko rešili probleme nadaljnjega razvoja (in obstoja) človeške družbe, če bomo *a-priori* zavračali vsako tehnologijo samo zato, ker ne poznamo vseh njenih možnih učinkov?



¹ EIA, US Energy Information Administration, Natural Gas Prices - http://www.eia.gov/dnav/ng/ng_pri_sum_dcu_nus_m.htm

² Electricity Declines 50% as Shale Spurs Natural Gas Glut: Energy; Bloomberg Jan. 17, 2012 - <http://www.bloomberg.com/news/articles/2012-01-17/electricity-declines-50-in-u-s-as-shale-brings-natural-gas-glut-energy>

³ European industry flocks to U.S. to take advantage of cheaper gas, The Washington Post April 1, 2013 - http://www.washingtonpost.com/world/europe/european-industry-flocks-to-cheap-us-gas/2013/04/01/454d06ea-8a2c-11e2-98d9-3012c1cd8d1e_story.html

⁴ Natural Gas Boom Is Attracting Manufacturing To The US From Overseas To Take Advantage Of Cheaper Fuel, Feedstock, International Business News May 9, 2014 - <http://www.ibtimes.com/natural-gas-boom-attracting-manufacturing-us-overseas-take-advantage-cheaper-fuel-1582512>

⁵ France cements fracking ban, The Guardian, 11 October 2013 - <http://www.theguardian.com/environment/2013/oct/11/france-fracking-ban-shale-gas>

⁶ European Commission, Energy and Environment, Environmental Aspects on Unconventional Fossil Fuels, 27th February 2015 - http://ec.europa.eu/environment/integration/energy/unconventional_en.htm

⁷ USGS Total Water Use 2010 - <http://water.usgs.gov/watuse/wuto.html>

-
- ⁸ R. D. Vidic, S. L. Brantley, J. M. Vandenbossche, D. Yoxtheimer, J. D. Abad: Impact of Shale Gas Development on Regional Water Quality. Science 340, 1235009 (2013). DOI: 10.1126/science.1235009 - http://www.giovanfavia.it/wp-content/uploads/Superquark-3-Terremotilndotti_2.pdf
- ⁹ The Geological Society of America, GSA Critical Issue: Hydraulic Fracturing - <http://www.geosociety.org/criticalissues/hydraulicFracturing/waterQuality.asp>
- ¹⁰ JEFFREY C. KING, JAMIE LAVERGNE BRYAN & MEREDITH CLARK: FACTUAL CAUSATION: THE MISSING LINK IN HYDRAULIC FRACTURE—GROUNDWATER CONTAMINATION LITIGATION. DUKE ENVIRONMENTAL LAW & POLICY FORUM [Vol. 22:341] - <http://scholarship.law.duke.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1234&context=delpf>
- ¹¹ Heather Cooley, Kristina Donnelly: Hydraulic Fracturing and Water Resources: Separating the Frack from the Fiction. Pacific Institute, June 2012 - <http://pacinst.org/wp-content/uploads/sites/21/2014/04/fracking-water-sources.pdf>
- ¹² R. Thiruvengkatacharia, S. Vigneswarana, R. Naidub: Permeable reactive barrier for groundwater remediation. Journal of Industrial and Engineering Chemistry Volume 14, Issue 2, March 2008, Pages 145–156; doi:10.1016/j.jiec.2007.10.001 - <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X0700024X>
- ¹³ Gasland, A Film by Josh Fox - <http://one.gaslandthemovie.com/home>
- ¹⁴ From Flaming Faucet to Flaming Hose: The Continuing Fraud of Gasland. Steve Everley, Energy in Depth, July 7, 2013 - <http://energyindepth.org/national/the-continuing-fraud-of-gasland/>
- ¹⁵ Fracking confirmed as cause of rare 'felt' earthquake in Ohio. SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, 5-JAN-2015 - http://www.eurekalert.org/pub_releases/2015-01/ssoa-fca123014.php
- ¹⁶ USGS Earthquakes Induced by Fluid Injection FAQ - <http://www.usgs.gov/faq/categories/9833/3428>
- ¹⁷ FracFocus Chemical Disclosure Registry: What Chemicals Are Used - <https://fracfocus.org/chemical-use/what-chemicals-are-used>
- ¹⁸ Marcellus Drilling News: List of 78 Chemicals Used in Hydraulic Fracturing Fluid in Pennsylvania - <http://marcellusdrilling.com/2010/06/list-of-78-chemicals-used-in-hydraulic-fracturing-fluid-in-pennsylvania/>
- ¹⁹ EPA Analysis of Hydraulic Fracturing Fluid Data from the FracFocus Chemical Disclosure Registry 1.0 - http://www2.epa.gov/sites/production/files/2015-03/documents/fracfocus_analysis_report_and_appendices_final_032015_508_0.pdf
- ²⁰ Ethylene Glycol: Dose-Effects - http://www.academia.edu/477037/Ethylene_Glycol_Dose-Effects
- ²¹ CDC Toxicological Profile for Ethylene Glycol - 2. RELEVANCE TO PUBLIC HEALTH - <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp96-c2.pdf>
- ²² MATERIAL SAFETY DATA SHEET Aspirin - <http://www.drugbank.ca/system/msds/DB00945.pdf?1265922750>
- ²³ EPA Natural Gas Extraction - Hydraulic Fracturing - <http://www2.epa.gov/hydraulicfracturing>

²⁴ DEP Fines Atlas Resources for Drilling Wastewater Spill in Washington County - <http://www.portal.state.pa.us/portal/server.pt/community/newsroom/14287?id=13595&typeid=1>

²⁵ DEP Penalizes Range Resources \$141,175 for Spill in High Quality Waterway - <http://www.portal.state.pa.us/portal/server.pt/community/newsroom/14287?id=11412&typeid=1>

²⁶ Fracking fluid spill raises concerns over regulation. Emilene Ostlind, High Country New, May 2, 2011 - <https://www.hcn.org/blogs/goat/fracking-fluid-spill-raises-concerns-over-regulation>

²⁷ EPA Evaluation of Impacts to Underground Sources of Drinking Water by Hydraulic Fracturing of Coalbed Methane Reservoirs Study (2004) - http://water.epa.gov/type/groundwater/uic/class2/hydraulicfracturing/wells_coalbedmethanestudy.cfm

²⁸ Pascal Bruckner: Le Fanatisme de l'Apocalypse. Le Livre de Poche, Littérature & Documents 6 février 2013. ISBN-10: 2253167347