

# Nevarnosti nastanka ogljikovega monoksida pri delovanju električnih agregatov in drugih motorjev z notranjim izgorevanjem

dr. Aleš Jug

Univerza v Ljubljani

Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo

Ljubljana

[ales.jug@fkkt.uni-lj.si](mailto:ales.jug@fkkt.uni-lj.si)

in

doc. dr. Miran Brvar

Univerzitetni klinični center Ljubljana

Center za zastrupitve

[miran.brvar@kclj.si](mailto:miran.brvar@kclj.si)

## Splošno o ogljikovem dioksidu

Ogljikov oksid lahko nastaja med zgorevanjem ogljika oz. snovi, kjer se pojavlja ogljik. Tako se lahko v stanovanju pojavlja povsod tam, kjer se uporablja peči na trdno gorivo, peči na naftne derivate (peč na kurilno olje, bencin ali petrolej) in peči oz. bojlerje na zemeljski plin (metan). Ogljikov oksid nastaja tudi med delovanjem motorjev z notranjim zgorevanjem. Tako lahko povečane koncentracije CO najdemo v domačih garažah in v podzemnih garažnih hišah že med običajnim obratovanjem vozil.

Med delovanjem peči, bojlerjev ali vozil lahko torej vrednosti CO presegajo tiste, določene s standardi o varnosti uporabnikov. Ogljikov oksid tudi gori.

Spodnja eksplozijska meja znaša 12,5 vol % ali 125.000 ppm. Ta raven je zelo visoka, izjemoma lahko nastane med požarom, ko je oskrba z zrakom omejena. Pri teh vrednostih se lahko CO vname. Pojav v povezavi s tem, ko CO nastaja med požarom in se hipoma vžge ob vstopu svežega zraka, imenujemo povratni udar ali backdraft.

Ogljikov oksid nastaja tako med nepopolnim zgorevanjem s plamenom, kot tudi v procesu tlenja. Delež nastanka CO med zgorevanjem s plamenom je nekajkrat manjši, kot delež nastanka CO pri oksidaciji s tlenjem. To pomeni, da v peči, ki je dobro naložena in ima (zaradi počasnejšega zgorevanja) zaprta vrata za dotok svežega zraka, nastaja veliko več CO, kot če v peč prihaja več zraka.

Razlog za to, da je pri gorenju ob večjih količinah kisika manj ogljikovega oksida je predvsem v tem, da ogljikov oksid v plamenu ob zadostni oskrbi z zrakom zgori. Pri tem sicer nastaja ogljikov dioksid  $\text{CO}_2$ , ki pa je za človeka nekoliko manj nevaren.

Zgorevanje postane nepopolno tudi, kadar v prostoru zaradi slabega prezračevanja primanjkuje svežega zraka (zraka, ki ima približno 21 vol. % kisika). Problem pri oskrbi s svežim zrakom lahko nastane, ko v stanovanju, kjer imamo peč na trdna goriva zamenjamo stara okna z novimi, ki bolje tesnijo.

V prostoru pride v največ primerih do nastanka prevelikih koncentracij CO zaradi:

- slabega odvajanja zgorevalnih produktov (neočiščeni ali slabo očiščeni dimniki),
- napačno izvedenih ali poškodovanih dimniških tuljav (tuljave so počene ali zaradi napake pri izvedbi ali vzdrževanju puščajo dimne pline),

- neustreznega prezračevanja oz. oskrbe s svežim zrakom v prostor, kjer se nahaja peč na trdno, tekoče ali plinasto gorivo ali plinski bojler (oskrba kurilnih naprav z zgorevalnim zrakom). Do neustreznega prezračevanja pride lahko zaradi napak pri načrtovanju ali izvedbi prezračevanja v prostorih oz. naknadnega posega v prostor (zamenjava oken in vrat z novimi okni in vrati, ki običajno tesnijo bolje od starih),
- uporabe strojev in naprav, ki jih poganjajo motorji z notranjim zgorevanjem (motorne črpalke, motorne žage, agregati ipd.) v zaprtem prostoru.

Nastajanje CO pri uporabi agregatov in drugih naprav, ki jih poganjajo motorji z notranjim izgorevanjem

Neurja in ujme kjer se pojavljajo močni vetrovi, plazovi, povodnji, žled ipd. lahko povzročijo izpad električne energije. V tem primeru je ena od začasnih rešitev uporaba prenosnih generatorjev električne energije (električnih agregatov), ki jih poganja bencinski ali dizelski motor različnih moči. Gre za ti. motorje z notranjim izgorevanjem, ki lahko poganjajo tudi motorne črpalke, motorne verižne in krožne žage ipd. ki jih pri posredovanju ob nesrečah uporabljajo gasilci.



Slika 1: Bencinski agregat v prostoru

Med delovanjem agregatov v motorju zgoreva bencin ali dizelsko gorivo, pri tem pa se sprošča tudi ogljikov monoksid (CO). Ogljikov monoksid s kemijsko formulo CO je plin brez barve, vonja in okusa. Je gorljiv in toksičen.

Po podatkih Inštituta za varovanje zdravja Republike Slovenije je zastrupitev s CO v Sloveniji najpogostejša smrtna nenamerna zastrupitev, saj umre v Sloveniji zaradi nenamerne zastrupitve s CO okoli 10 ljudi letno.

CO pri vdihovanju ne draži sluznic, zato ga ne moremo zaznati in se pravočasno umakniti iz zastrupljenega območja. V pljučih se CO hitro vsrka v kri in nato porazdeli po celem telesu, kjer se veže na proteine, ki vsebujejo železo ali baker. Najpomembnejši proteini, na katere se veže CO, so hemoglobin, mioglobin in citokrom oksidaza. Na hemoglobin se CO veže z 240-krat večjo afiniteto kot kisik in tako zmanjša kapaciteto hemoglobina za prenos kisika po krvi, kar povzroči pomanjkanje kisika v tkivih. Poleg tega CO zavre tudi celično dihanje z zavrtjem delovanja citokrom oksidaze. Zaradi pomanjkanja kisika in zavrtja celičnega dihanja so pri zastrupitvi s CO najprej in najbolj prizadeti možgani. Zastrupitve s CO se tako pokažejo predvsem z glavobolom, slabostjo, bruhanjem, omotičnostjo, utrujenostjo, zmedenostjo, motnjami vida, zanašanjem pri hoji, zaspanostjo in izgubo zavesti ter krči.

Ugotavljanje zastrupitev s CO je do pred kratkim temeljilo le na določevanju nivoja

karboksihemoglobina (hemoglobin z vezanim CO) v vzorcu krvi s plinskim analizatorjem s karboksioksimetrom v bolnišničnih laboratorijih. Sedaj pa lahko tudi v Sloveniji kupimo pulzne karboksioksimetre (Slika 2), ki omogočajo hitro in neinvazivno ugotavljanje zastrupitev s CO brez odvzema vzorca krvi. Delovanja pulznega karboksioksimetra temelji na različnih absorpcijah vidne in infrardeče svetlobe oksihemoglobina, deoksihemoglobina in karboksihemoglobina. S pulznim karboksioksimetrom lahko hitro in neinvazivno merimo nivoje karboksihemoglobina, zato je primeren za ugotavljanje zastrupitev s CO v urgentnih ambulantah in na mestih zastrupitev, kjer do sedaj nismo imeli možnosti hitre določitve nivoja karboksihemoglobina. Pulzne karboksi-oksimeetre tako že uporabljajo gasilci, ki so izpostavljeni plinom ob gašenju požarov.



Slika 2: Pulzni karboksioksimeter

Zastrupljence s CO moramo čim hitreje pričeti zdraviti s 100% kisikom preko maske z rezervoarjem (Slika 3) in jih odpeljati v bolnišnico.



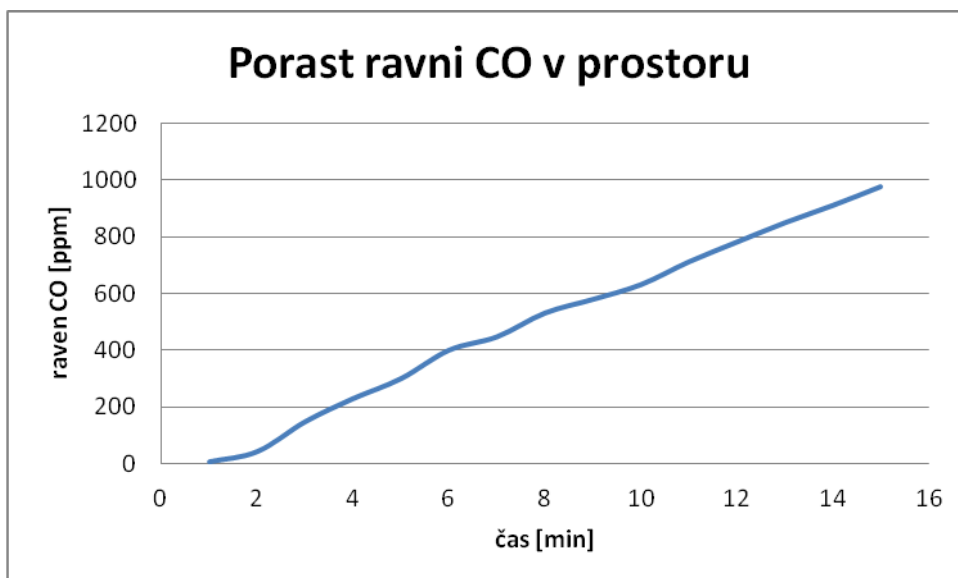
Slika 3: Zdravljenje s 100 % kisikom preko maske z rezervoarjem (OHIO maska)

Ob delovanju naprave, ki jo poganja motor z notranjim zgorevanjem v zaprtem ali deloma zaprtem prostoru, lahko nivo CO v prostoru izredno hitro naraste in ob tem se hitro pojavijo tudi znaki zastrupitve s CO. Hitrost in teža zastrupitve s CO pa je, poleg koncentracije CO v zraku, odvisna tudi od časa izpostave in fizične aktivnosti zastrupljenca: višja koncentracija CO, daljši čas izpostave in fizična aktivnost (npr. gašenje) med vdihovanjem CO vodijo v hujšo zastrupitev. V tabeli 1 je podan vpliv CO na človeka v odvisnosti od koncentracije CO v zraku in časa izpostave.

Tabela 1: Vpliv CO na človeka

Koncentracija	Simptomi
35 ppm (0.0035%)	Glavobol in slabost – izpostavljenost 6 – 8 ur
100 ppm (0.01%)	Rahel glavobol v treh urah
200 ppm (0.02%)	Rahel glavobol v dveh do treh urah – izguba zmožnosti presoja
400 ppm (0.04%)	Glavobol v eni do dveh ur
800 ppm (0.08%)	Omotičnost, slabost in krči v 45 min; neobčutljivost v 2 urah
1,600 ppm (0.16%)	Glavobol, vrtoglavica, slabost, povečanje srčne frekvence v 20 min; smrt v manj kot 2 urah
3,200 ppm (0.32%)	Glavobol, vrtoglavica, slabost v 5 do 10 min. Smrt v 30 min.
6,400 ppm (0.64%)	Glavobol in vrtoglavica v 1 do 2 minut. Krči, onemogočeno dihanje v manj kot 20 min.
12,800 ppm (1.28%)	Nezavest po 2 - 3 vdihih. Smrt v manj kot 3 min.

Na grafu, ki ga prikazuje slika 4 je podana odvisnost porasta ravni CO v prostoru z volumnom 27 m<sup>3</sup> od časa (pri delovanju 750 W agregata). Med delovanjem agregata so bila vrata in okna prostora zaprta. Iz grafa je razvidno, da vrednosti naraščajo izredno hitro, za človeka smrtno nevarna meja 400 ppm je bila dosežena po 6 minutah. Ob deloma priprtem oknu je bila koncentracija 400 ppm dosežena po 10 minutah.

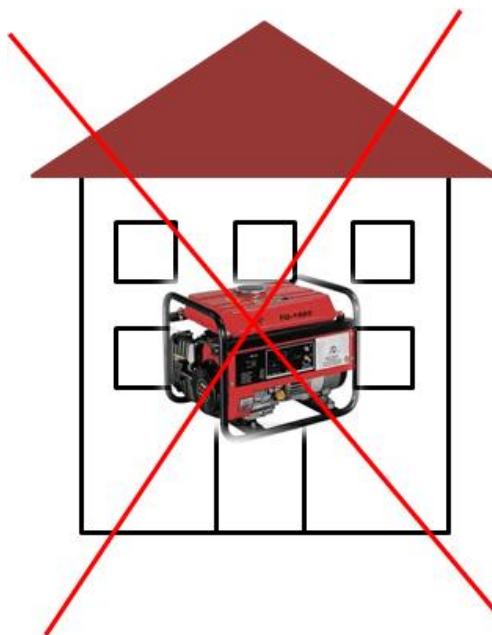


Slika 4: Graf odvisnosti porasta koncentracij CO v zaprtem prostoru od časa

Smrtno nevarne oz. za človeka škodljive koncentracije v prostorih objektov se lahko pojavljajo tudi ob uporabi naprav, ki jih poganjajo motorji z notranjim izgorevanjem a so naprave nameščene preblizu objektov.

Naprav, ki jih poganjajo motorji z notranjim izgorevanjem se ne sme nikoli uporabljati v prostorih! Odprta okna in vrata niso dovolj, da v prostoru nebi nastale visoke koncentracije CO. To je smrtno nevarno!



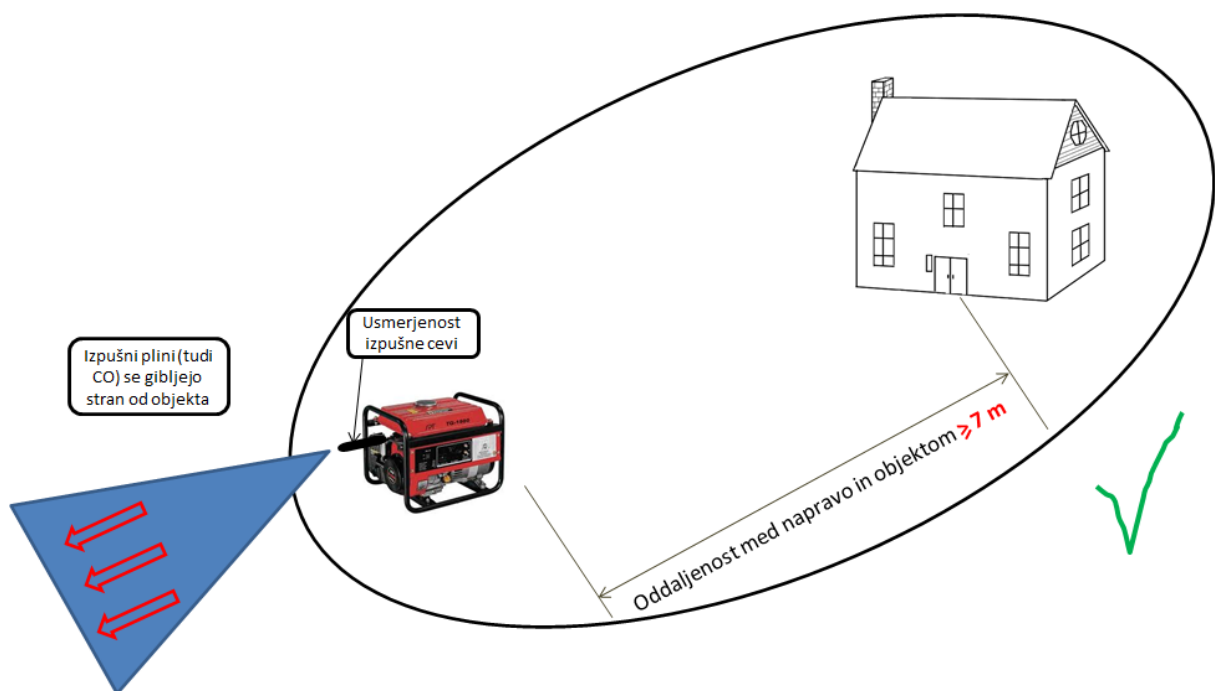


Slika 5: Naprav, ki jih poganja motor z notranjim izgorevanjem se ne sme uporabljati v objektih

Ob nedavnem neurju Sandy, ki je konec oktobra prizadelo vzhodni del ZDA, je zaradi neustrezne uporabe električnih agregatov (zastrupitev s CO) v treh dneh po neurju umrlo najmanj 9 oseb.

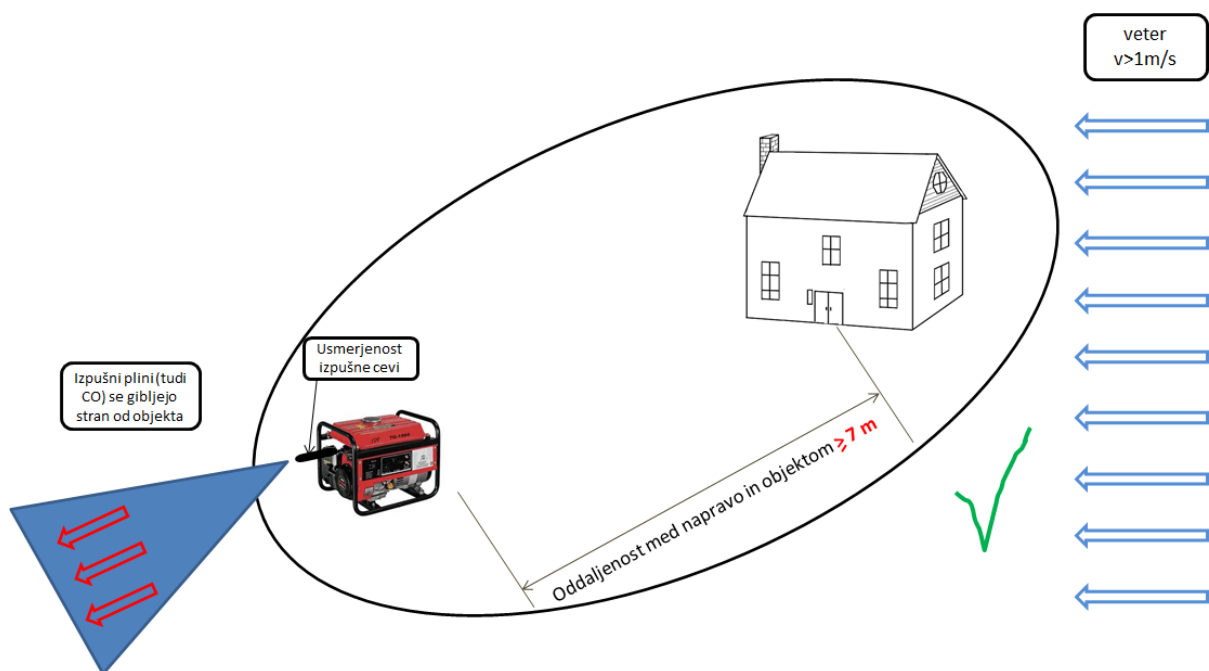
Splošno prepričanje je, da je CO lažji od zraka, kar ni res. Molska masa CO znaša 28 g/mol. Molska masa zraka je sicer nekoliko višja in znaša 29 g/mol. Ker sestavlja 79% zraka plin dušik z molsko maso 28 g/mol pa lahko rečemo, da sta molski masi CO in zraka skoraj enaki. To pomeni, da je gibanje CO v okolici odvisno od dveh dejavnikov: naprave, ki CO tvori in atmosferskih pogojev. Med dejavnike, ki na gibanje CO vplivajo s strani naprave same (npr. električnega agregata) spada hitrost in temperatura izpušnih plinov na ustju izpušne cevi. Ker znaša hitrost na ustju izpušne cevi okoli 7 m/s še sama naprava izpušne pline (tudi CO) pošilja v določeno smer. Na gibanje izpušnih plinov vpliva tudi njihova temperatura, ki znaša na ustju izpušne cevi okoli 200 °C. V primerjavi z temperaturo okolice prihaja do razlike temperatur, ki izpušne pline dviga v ozračje. Pomemben element, ki vpliva na gibanje izpušnih plinov, kamor spada tudi CO, je veter.

Raziskav in meritev o gibanju CO na prostem je malo. V strokovni literaturi je moč najti niz izračunov ter računalniških simulacij. Meritve in izračuni, ki so bile opravljene na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani in na nekaterih tujih ustanovah kažejo, da mora biti naprava, ki jo poganja motor z notranjim izgorevanjem nameščena vsaj 7 m stran od objekta. Rezultati so primerljivi s tujimi študijami. Ob takšnem odmiku naprave od objekta pade koncentracija CO, ko ta doseže objekt, na raven, ki ni več življenjsko nevarna. Na koncentracijo CO ob objektu vpliva tudi usmerjenost izpušne cevi na napravi. Ta mora biti usmerjena stran od objekta (Slika 6).



Slika 6: Ustrezen odmik in postavitve naprave (usmeritev izpušne cevi), ki jo poganja motor z notranjim izgorevanjem od objekta

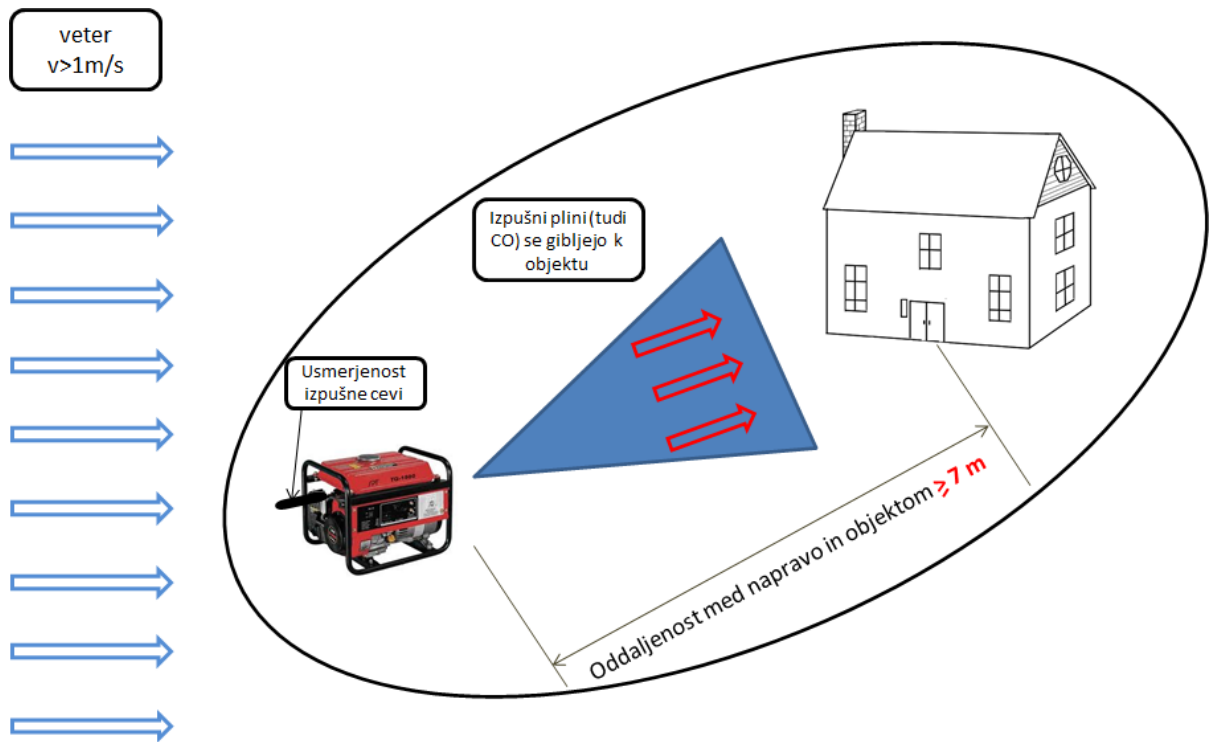
Ustrezna je tudi postavitve naprave, kjer veter izpušne pline odnaša stran od objekta (Slika 7). Pri izbiri prednosti vetra je treba stalno spremljati smer vetra in položaj naprave sproti prilagajati smeri vetra.



Slika 7: Ustrezen odmik in postavitve naprave (izraba smeri vetra), ki jo poganja motor z notranjim izgorevanjem od objekta

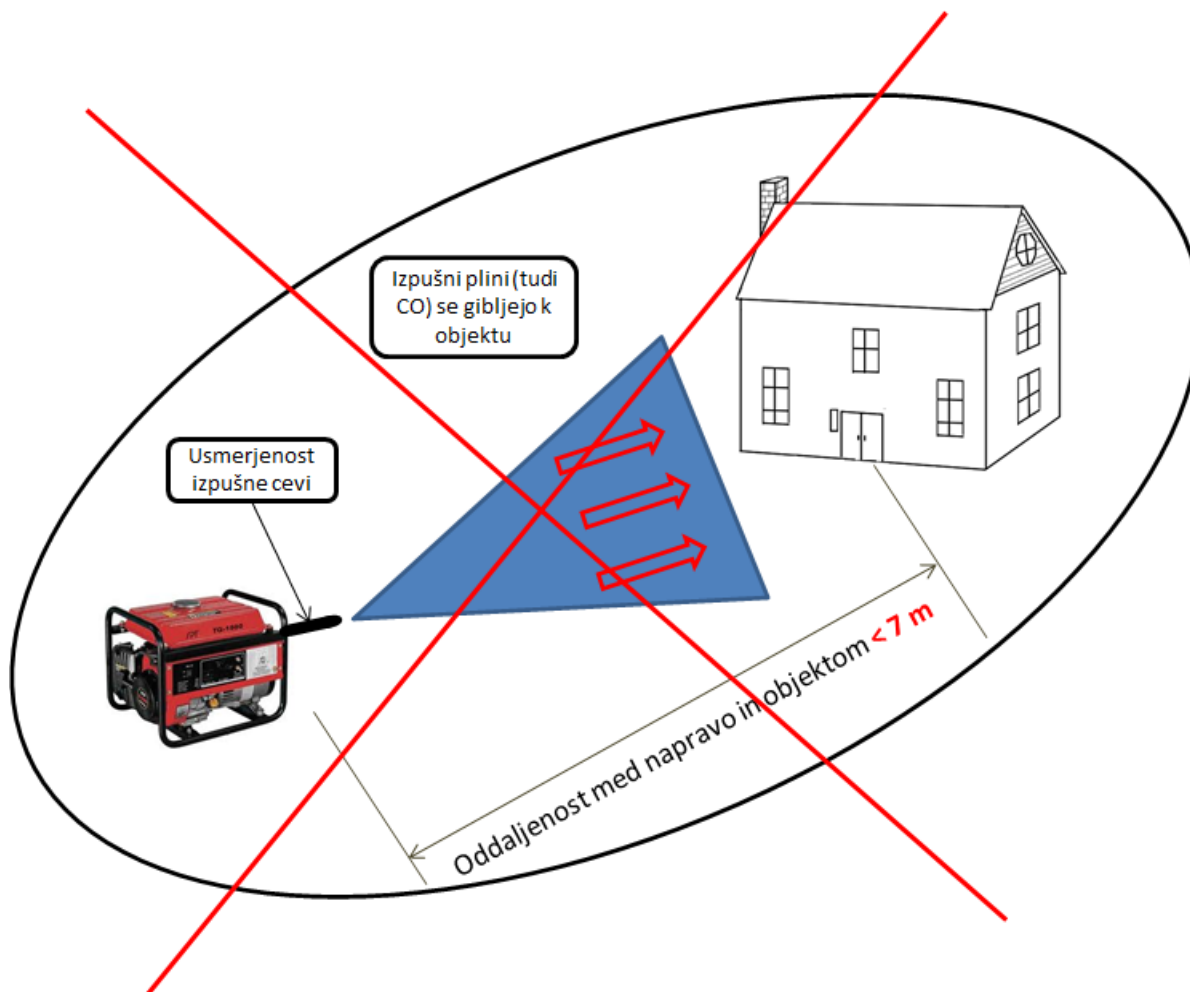
Naprave tudi v primeru, ko piha veter v smeri od objekta proti napravi (slika 7) ni varno postavljati manj kot 7 m stran od objekta. Zrak se namreč ob objektu vrtinči, kar lahko povzroči zadrževanje CO ob ali v objektu.

Situacija postavitve naprave (in s tem izpostavljenost oseb, ki so ob ali v objektu), ki jo poganja motor z notranjim izgorevanjem se spremeni, če piha veter s hitrostjo nad 1 m/s v smeri od naprave proti objektu (Slika 8). Tu je ob objektu (in v objektu ob odprtih oknih in vratih) tudi pri odmikih večjih od 7 m moč doseči nevarne koncentracije CO. V takšnem primeru je potrebno nad osebami, ki se gibljejo ob in v objektu izvajati poseben nadzor. Potrebna je občasna prekinitev delovanja naprave oz. prekinitev dela na delovišču. Ob vsakršnem znaku slabosti morajo osebe prostor zapustiti.



Slika 8: Postavitev naprave, ki jo poganja motor z notranjim izgorevanjem, kjer veter omogoča potisk izpušnih plinov proti objektu

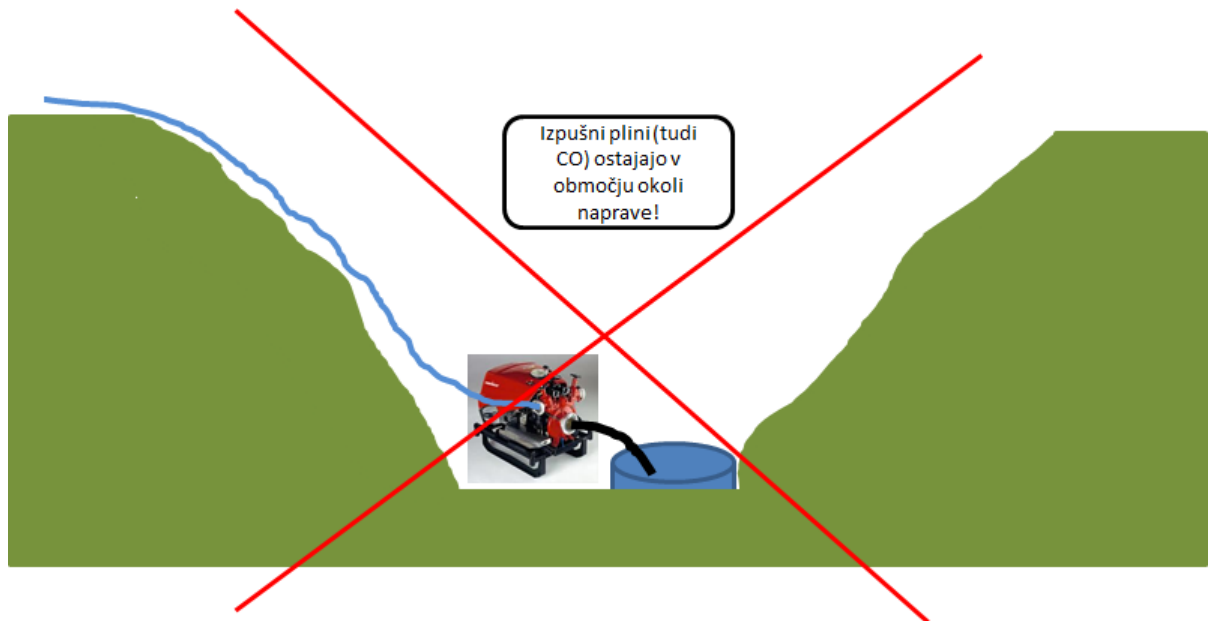
Med neustrezno postavitvijo naprave, ki jo poganja motor z notranjim izgorevanjem, šteje tudi postavitvijo naprave na razdaljah manj kot 7 m od objekta in ob usmeritvi izpušne cevi v smer objekta (Slika 9).



Slika 9: Neustrezna postavitev naprave, ki jo poganja motor z notranjim izgorevanjem

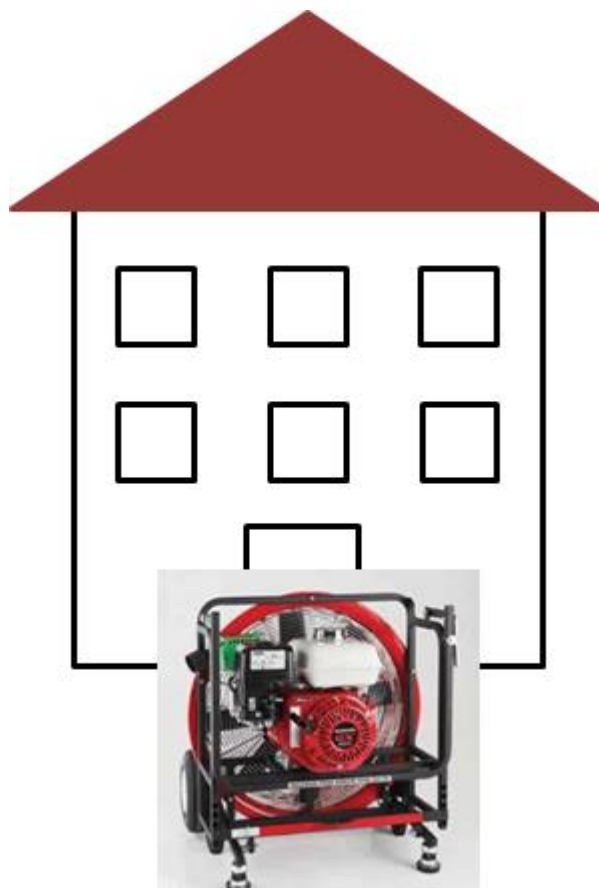
Poseben primer je način uporabe naprav, ki jih poganjajo motorji z notranjim izgorevanjem v jaških, vrtačah, vodnjakih, poglobljenih delih objektov ipd (Slika 10). Zaradi že opisanih lastnosti CO (izenačena molska masa CO in dušika) bo CO ob delovanju naprave homogeno zapolnil poglobljen prostor. Širjenje CO bo podobno, kot v zaprtem prostoru.

Uporaba naprav, ki jih poganja motor z notranjim izgorevanjem je v poglobitvah (jaški, vrtače, vodnjaki, poglobljeni dele objektov) smrtno nevarna. V kolikor se uporabe takšnih naprav ne da ogniti, morajo vse aktivnosti okoli naprav potekati z uporabo izolirnega dihalnega aparata. Osebe, ki se gibljejo v takšnem okolju (z uporabo IDA) pa morajo biti pod stalnim nadzorom.



Slika 10: Uporaba motorne črpalke na prikazani način je smrtno nevarna

Primer nastanka CO in vpliva na gibanje zraka so tudi nadtlačni prezračevalniki, ki jih poganja motor z notranjim izgorevanjem (npr. Tempest). V primeru prezračevanja objekta z nadtlačnimi prezračevalniki lahko v objekt prihaja tudi večja količina izpušnih plinov, kjer je prisoten tudi CO. Pri daljši uporabi nadtlačnega prezračevalnika (več kot 15 minut) je treba objekt dodatno prezračiti, vse ki bi vstopali v objekt oz. se po njem gibali pa opozoriti na nevarnost pojava CO.



Slika 11: Uporaba nadtlačnega prezračevalnika lahko prav tako vpliva na višje ravni CO

#### Kratek povzetek:

1. Pri vsakršni uporabi naprav, ki jih poganjajo motorji z notranjem izgorevanjem nastaja CO, ki je lahko že v nizkih koncentracijah nevaren za človeka. Pri zaznavanju CO se ne moremo zanašati na svoja čutila, saj je CO brez barve, vonja in okusa. V primeru delovanja naprav, ki jih poganjajo motorji z notranjem izgorevanjem v prostoru, tudi plamen svečke ne bo ustrezen pokazatelj. Raven kisika se spreminja zanemarljivo, hitro pa narašča raven CO.
2. Nikoli ne uporabljajte naprav, ki jih poganjajo motorji z notranjem izgorevanjem v prostorih (odprta vrata in okna niso dovolj za ustrezno zračenje). Smrtno nevarne koncentracije CO lahko nastanejo že po nekaj minutah delovanja naprave! Visoke koncentracije CO lahko v prostoru ostanejo še dlje časa po izklopu naprave.
3. Nikoli ne uporabljajte naprav, ki jih poganjajo motorji z notranjem izgorevanjem v poglobitvah (jaški, vrtače, vodnjaki, poglobljeni dele objektov). Vpliv širjenja CO je podoben, kot pri uporabi naprav, ki jih poganjajo motorji z notranjem izgorevanjem v prostorih. V kolikor se uporabe takšnih naprav ne da ogniti,

morajo vse aktivnosti okoli naprav potekati z uporabo izolirnega dihalnega aparata. Osebe, ki se gibljejo v takšnem okolju (z uporabo IDA) pa morajo biti pod stalnim nadzorom.

4. Pri uporabi naprav, ki jih poganjajo motorji z notranjem izgorevanjem izven objekta je treba upoštevati varnostne razdalje. Naprave naj bodo nameščene vsaj 7 m od objekta, izpušna cev pa mora biti obrnjena stran od objekta.
5. V objekt je priporočljivo namestiti javljalnike CO, ki imajo oznako evropskega standarda EN50291 in glasen zvočni signal.
6. Enote, ki posredujejo v okolju, kjer je pričakovati pojav CO naj se opremijo z osebni dozimetri (Slika 12), ki bodo uporabnika dovolj zgodaj opozorili na prisotnost CO.



Slika 12: Osebni dozimeter za detekcijo ogljikovega monoksida (CO)

7. V primeru, da imamo znake zastrupitve s CO, moramo čim hitreje zapustiti zastrupljeno območje in poklicati pomoč na telefonsko številko 112. Zdravljenje s 100% kisikom preko maske z rezervoarjem se mora začeti že na mestu zastrupitve oz. v reševalnem vozilu med prevozom v bolnišnico.
8. Ob zastrupitvi s CO moramo čim bolj mirovati in se izogibati fizičnim naporom, kot je daljša hoja.
9. V primeru suma na zastrupitev s CO moramo zdravnika na to opozoriti.