

## JE NÁHRADA ETBE ZA MTBE VÝHROU?

MILUŠE VOŠAHLÍKOVÁ, KATEŘINA  
DEMNEROVÁ a JARMILA PAZLAROVÁ

Ústav biochemie a mikrobiologie, Vysoká škola chemicko-  
technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha  
miluse.vosahlkova@vscht.cz

Došlo 31.10.06, přepracováno 22.10.07, přijato 27.10.07.

Klíčová slova: MTBE, ETBE, toxicita, biodegradace

### Obsah

1. Úvod
2. Srovnání výhod a nevýhod v použití ETBE oproti MTBE
3. Toxicita ETBE
4. Pravděpodobnost biodegradace ETBE po úniku do životního prostředí
5. Závěr

### 1. Úvod

S rozvojem automobilové dopravy ve 20. století vznikl nový zdroj možností kontaminace životního prostředí – výfukové plyny nebo nekontrolovatelný únik ropy a jejích derivátů při přepravě či skladování. Mezi možnostmi, které pomáhají snižovat znečištění životního prostředí spojené s autodopravou, je zajištění kvalitního spalování benzínu a tím omezení škodlivých emisí. Toho se dá dosáhnout volbou vhodných benzinových aditiv.

V Evropě se od roku 1930 používaly v širokém měřítku jako aditiva sloučeniny obsahující kovy (např. tetraethylolovo či tetramethylolovo), které ovšem posléze představovaly obrovskou zátěž pro životní prostředí<sup>1</sup>. V posledních desetiletích byla hledána náhrada těchto látek a postupně byla zavedena do provozu nová skupina sloučenin v podobě alifatických alkoholů a dialkyletherů. Jako kyslíkaté látky jsou používány především ethery – *terc*-butyl(ethyl)ether (ETBE), *terc*-amyl(methyl)ether (TAME), *terc*-butyl(methyl)ether (MTBE) a diisopropylether (DIPE). Produkce tzv. reformovaných benzinů (RFG), používajících jako antidetonanční složku hlavně kyslíkaté látky, začala v 70. letech v USA, poté se rozšířila do států Evropy. U RFG je kladen velký důraz na omezení škodlivých emisí. Mezi další aditiva patří skupina sloučenin označovaná jako BTEX (benzen, toluen, ethylbenzen, *o*-xylen, *m*-xylen a *p*-xylen). Tyto přísady zvyšují oktanové číslo benzínu, zlepšují jeho spalování a také snižují objem

škodlivých emisí<sup>2–4</sup>. Mezi kyslíkatými sloučeninami našel největší uplatnění MTBE díky nízkým nákladům při výrobě. Běžně používaná koncentrace MTBE v bezolovnatých benzinech v USA se pohybuje kolem 10–15 obj.%, v České republice do 10 obj.%, dávkování je v souladu s ČSN EN 228, která povoluje maximální dávku 15 obj.%. Obsah ostatních sledovaných látek v benzínu je podle ČSN EN 228 následující: benzen do 1 % (v/v) a aromáty do 35 % (v/v). V České republice je MTBE přidáván do benzínu od roku 1992.

Avšak ani těmito novými sloučeninami nebyl vyřešen ekologický problém spojený s automobilovou dopravou. Po úniku pohonných hmot do životního prostředí dochází k jejich rozptýlení podle fyzikálně-chemických vlastností, které jsou shrnuty v tabulce I. Nejrozšířeněji používaný MTBE byl pak detegován v povrchových a spodních vodách, na částicích půdy a v neposlední řadě i v ovzduší.

První zprávy o kontaminaci spodní vody MTBE byly zaznamenány v Kalifornii v USA, kde se začal používat od roku 1970. MTBE díky dobré rozpustnosti ve vodě putuje se spodními proudy a může se takto rozšířit do širokého okolí od zdroje kontaminace. Jelikož má silný etherický zápach a chuť, k znehodnocení vody stačí koncentrace okolo 100  $\mu\text{g l}^{-1}$  (cit.<sup>5</sup>). Spotřeba MTBE v USA však i nadále stoupala, počáteční produkce 10 000 tun v roce 1970 se zvýšila až na 10 000 000 tun v roce 1998 (cit.<sup>6</sup>). Když byly prokázány souvislosti kontaktu s MTBE se zdravotními problémy, bylo MTBE věnováno více pozornosti. Po zjištění negativních účinků MTBE na lidský organismus zařadila Environmental Protection Agency U.S. (U.S. EPA) (Agentura pro ochranu životního prostředí) tuto sloučeninu mezi „sledované látky“. Podrobných studií o působení MTBE na člověka je zatím ale málo. Ojedinelé práce sledují akutní účinek MTBE po inhalaci na nervovou, trávicí a dýchací soustavu. Výsledky zatím nejsou uzavřeny<sup>7–10</sup>, ale přesto se začaly hledat nové alternativy za MTBE. Jako nadějná náhrada se jeví ETBE. Bude však ETBE k životnímu prostředí šetrnější?

### 2. Srovnání výhod a nevýhod v použití ETBE oproti MTBE

Jednou z předností použití ETBE by byla jeho výroba, ve které se může uplatnit ethanol, jenž lze získat z obnovitelných zdrojů. Využití komponent z obnovitelných zdrojů pro výrobu motorových paliv představuje velmi aktuální problém, ETBE by tak znamenal významnou výzvu pro rafinérský průmysl. Přestavět linky dosud zaměřené na produkci MTBE by neměl být významný problém, na produkci ETBE může být převedena prakticky každá jednotka na výrobu MTBE. Určité úpravy, především změna nástřikového patra hlavní separační kolony

Tabulka I

Přehled chemických a fyzikálních vlastností vybraných aditiv pohonných hmot měřených při 25 °C

Látka	$M_r$	$t_v$ [°C]	$\rho$ [g ml <sup>-1</sup> ]	Rozpuštnost ve vodě [mg l <sup>-1</sup> ]	Tenze par [mm Hg]	Henryho konstanta [atm cm <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup> ]
MTBE	88,15	54	0,74	50 000	251,0	1 500,0
TBA	74,12	83	0,79	neomezená	41,0	12,0
ETBE	102,18	67	0,73	26 000	152,0	2 700,0
DIPE	102,18	91	0,74	9 000	150,0 <sup>a</sup>	6 900,0
TAME	102,18	86	0,77	20 000	68,0	1 300,0
Ethanol	46,07	79	0,79	neomezená	53,0	5,9
Methanol	32,04	65	0,80	neomezená	122,0	4,4
Benzen	78,11	80	0,88	2	86,0	5 400,0
toluen	92,13	111	0,87	535	28,0	5 900,0
Ethylbenzen	106,16	136	0,87	161	10,0	8 400,0
<i>m</i> -Xylen	106,16	139	0,88	146	8,3	7 700,0
<i>o</i> -Xylen	106,16	144	0,88	175	6,6	5 100,0
<i>p</i> -Xylen	106,16	138	0,86	156	8,7	7 700,0

<sup>a</sup> Měřeno při 20 °C, ostatní při 25 °C,  $t_v$  – teplota varu,  $M_r$  – relativní molekulová hmotnost,  $\rho$  – hustota, MTBE – *tert*-butyl(methyl) ether, TBA – *tert*-butylalkohol, ETBE – *tert*-butyl(ethyl)ether, TAME – *tert*-amyl(methyl)ether, DIPE – diisopropylether

a doplnění recirkulace alkoholu, umožňují zlepšit provozní výsledky existujících jednotek pro výrobu ETBE. Česká rafinérská a.s. již dvakrát takto realizovala výrobu ETBE. K tomuto účelu bylo zpracováno 1500 t bioethanolu<sup>11</sup>. Výchozí surovina pro výrobu ETBE by tedy pocházela z obnovitelných zdrojů (např. zemědělské suroviny), zatímco methanol pro výrobu MTBE je nyní získáván převážně ze zemního plynu.

Další výhodou ETBE spočívá v jeho fyzikálně-chemických vlastnostech (tab. I), jelikož má vyšší bod varu a nižší tlak par než MTBE. To je významné z hlediska zpříšňujících se limitů na těkavost automobilových benzínů, především v letním období<sup>11</sup>.

Někteří autoři se domnívají, že ETBE je méně nebezpečný pro životní prostředí než MTBE a to vzhledem k jeho menší rozpustnosti ve vodě (viz tab. I) a pravděpodobně rychlejší biologické degradaci oproti MTBE. Zde je však nutno podotknout, že studii degradace ETBE zatím nebyla věnována taková pozornost jako MTBE.

Existují ale i nevýhody, které zatím omezující použití ETBE v ČR v porovnání s MTBE. Jednou z nich je vysoká nákupní cena bezvodého ethanolu, jelikož jeho produkce není ještě dostatečně rozšířená. Zpracování kvasného ethanolu v rafinérii by tak bylo možné pouze za cenu finanční podpory státu (dotace, úprava spotřební daně), která by stlačila cenu ethanolu na cenu methanolu, jež je podstatně nižší. Požadavek na co nejnižší obsah vody v ethanolu je kladen hlavně pro ochranu automobilových katalyzátorů, jelikož vyšší obsah vody a dusíkatých látek způsobuje

jejich rychlejší stárnutí. Další finanční zátěž spočívá také v tom, že se zavedením výroby ETBE je obvykle spojena výstavba nového lihovaru, jako je tomu např. ve Španělsku a Francii<sup>12</sup>. Poslední větší nedostatek je spatřován v přítomnosti ethanolu v ETBE ve vyšší koncentraci než je methanol v MTBE, to může být zdrojem problémů typických pro směsi benzínu a ethanolu<sup>11</sup>.

### 3. Toxicita ETBE

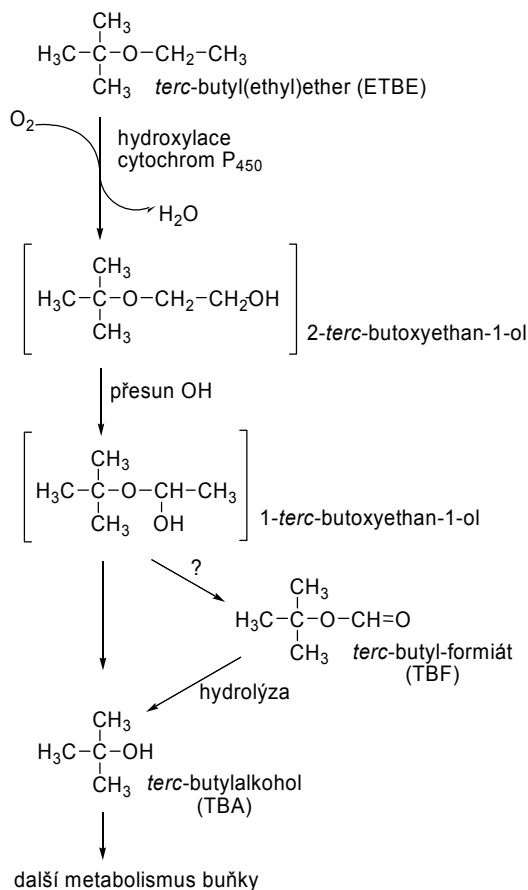
MTBE již byl zařazen mezi sledované látky a potenciální lidské karcinogeny<sup>13</sup>. ETBE má podobné vlastnosti v nezřetěleném stavu jako MTBE: charakteristický etherový zápach a chuť, dráždí oči, kůže, při inhalaci dráždí sliznice, působí na centrální nervovou soustavu, může způsobovat depresi. Dlouhodobější studie na zvířatech a lidech zatím nebyly prováděny, zatím byly uskutečněny krátkodobé experimenty pro případ, že se ETBE v automobilovém průmyslu uplatní. V těchto studiích byly inhalačně podávány nízké koncentrace ETBE lidem (ženám a mužům) a krysám (samičkám a samcům).

V prvním experimentu byl podáván ETBE v koncentraci 4 a 40 ppm 3 ženám, 3 mužům, 10 samičkám a 10 samcům po dobu 72 hodin v šestihodinových intervalech. V odebraných vzorcích moče byly identifikovány tyto látky: ETBE, *tert*-butylalkohol (TBA), 2-methylpropan-1,2-diol a 2-hydroxyisobutyryát, ve vzorcích krve byly nalezeny pouze ETBE a TBA. Ve vzorcích krve ode-

braných po 48 hodinách od první expozice 40 ppm byl detegován ETBE v koncentraci  $5,3 \pm 1,2 \mu\text{mol l}^{-1}$  u krysu a  $12,1 \pm 4,0 \mu\text{mol l}^{-1}$  u lidí. Po ukončení experimentu byl ETBE z krve i z moči velmi rychle vyloučen u obou skupin. V tomto experimentu bylo zajímavé zjištění, že ETBE byl rychleji biotransformován u krysu než u lidí<sup>14</sup>.

V další práci byl ETBE opět inhalačně podáván krysám Fischer-344 a myším CD-1 (imbrední kmeny) po dobu 6 až 12 týdnů v koncentračním rozpětí 0–5000 ppm. Po ukončení experimentu nebyly zaznamenány žádné významné patologické změny, ale u obou testovacích skupin byla pozorována narůstající hmotnost jater se zvyšující se dávkou ETBE a u samic ještě zvětšení ledvin, nadledvinek a srdce<sup>15</sup>.

I když u standardních testů genotoxicity nebyl pozorován negativní účinek ETBE a jeho metabolitu TBA na testovaný organismus, z předcházející studie vyplývá fakt, že se zvyšující podávanou koncentrací ETBE se objevují zdravotní problémy. Ty sice nevedly u studovaného organismu ke smrti, ale přesto jejich existence musí být brány v úvahu při manipulaci s touto látkou.



Obr. 1. Návrh metabolické dráhy ETBE u kmenů E1 a E2 (cit.<sup>20</sup>)

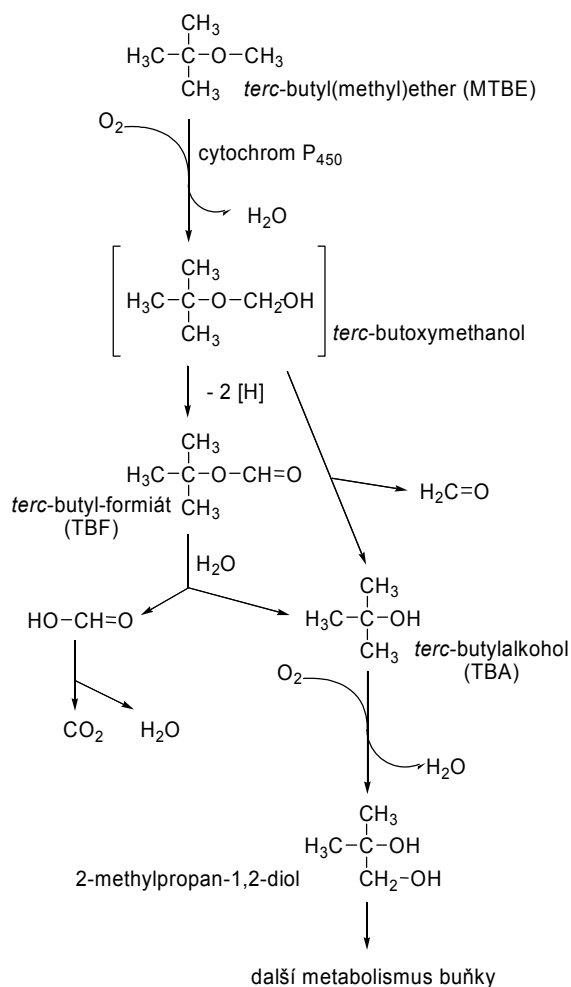
#### 4. Pravděpodobnost biodegradace ETBE po úniku do životního prostředí

Studium degradace ETBE doposud neprobíhalo tak intenzivně jako u MTBE, přesto dosavadní výsledky naznačují, že etherová vazba v této sloučenině je snáze štěpitelná oproti MTBE. Aerobní degradace ETBE byla poprvé prokázána v roce 1997 Steffanem a jeho pracovním kolektivem pomocí mikrobiální kultury primárně využívající propan<sup>16</sup>. O rok později byly ve Francii izolovány z aktivovaného kalu další bakteriální kmeny schopné štěpit ETBE tentokrát jako hlavní zdroj uhlíku a energie<sup>17</sup>. Tyto kmeny byly charakterizovány jako *Rhodococcus ruber* IPF 2001 a *Rhodococcus zopfii* IPF 2002 a později byl u nich popsán iniciační krok při degradaci ETBE. Mezi další mikroorganismy schopné využít ETBE patří *Gordonia terrae*, *Rhodococcus equi*<sup>18</sup>, *Mycobacterium vaccae* JOB5 (cit.<sup>19</sup>), *Comamonas testosteroni* E1, blíže neurčený půdní mikrobiální izolát E2 (cit.<sup>20</sup>) a konsorcium (směs mikroorganismů žijících v dané lokalitě) izolované z půdy kontaminované benzinem<sup>21</sup>. U kmenů E1 a E2 byla podrobněji studována degradační dráha ETBE izolací a analýzou meziproductů v různém čase. Na základě prokázaných intermediátů byla navržena degradační dráha ETBE, která je zobrazena na obr. 1 (cit.<sup>20</sup>).

První stupeň při biodegradaci ETBE je stejný jako u MTBE, účastní se ho pravděpodobně enzym (monooxygenasa cytochrom P<sub>450</sub>), který oxiduje ETBE na 2-*tert*-butoxyethan-1-ol a MTBE na *tert*-butoxymethanol. Poté je průběh metabolismu u obou sloučenin odlišný. U 2-*tert*-butoxyethan-1-olu v degradační dráze ETBE dochází k přesunu hydroxyly za vzniku 1-*tert*-butoxyethan-1-olu, který je dále buď přímo štěpen na acetaldehyd a TBA nebo je demetylován na *tert*-butylformiát (TBF), který je posléze hydrolyzován za vzniku kyseliny mravenčí a TBA. *tert*-Butoxymethanol v degradační dráze MTBE (obr. 2) může být buď dehydrogenován na TBF, který je poté štěpen na kyselinu mravenčí a TBA, nebo je přímo štěpen na formaldehyd a TBA. TBA tedy tvoří společný stabilní meziproduct při štěpení obou látek (ETBE a MTBE). U MTBE však může tvořit také u některých mikroorganismů konečný produkt, který není dále oxidován a kumuluje se v kulturačním médiu. Ačkoliv jsou si degradační dráhy obou sloučenin velmi podobné, rozdíl spočívá v iniciačním kroku. MTBE svou strukturou oproti ETBE tvoří velmi obtížně přístupný substrát, tudíž právě etherová vazba, kterou je u MTBE vázán *tert*-butyl ze strany jedné a methylová skupina ze strany druhé, způsobuje velkou odolnost vůči bakteriálnímu štěpení<sup>20,22</sup>.

#### Princip štěpení etherové vazby u ETBE

Sloučeniny obsahující ve své struktuře etherovou vazbu se v přírodě běžně nacházejí, jmenujme např. lignin. Existence těchto přírodních látek je velmi důležitá skutečnost při hledání mikroorganismů schopných degradovat polutanty s etherovou vazbou. V mnoha publikacích byl popsán biochemický mechanismus štěpení etherové vazby



Obr. 2. Návrh metabolické dráhy MTBE u kmenů degradujících MTBE za aerobních podmínek (cit.<sup>20</sup>)

u různých průmyslově vyráběných sloučenin, které v dnešní době kontaminují životní prostředí<sup>23</sup>. Podobně je tomu tak i u ETBE, u kterého se již také podařilo izolovat a charakterizovat enzymy zapojené do iniciace degradace

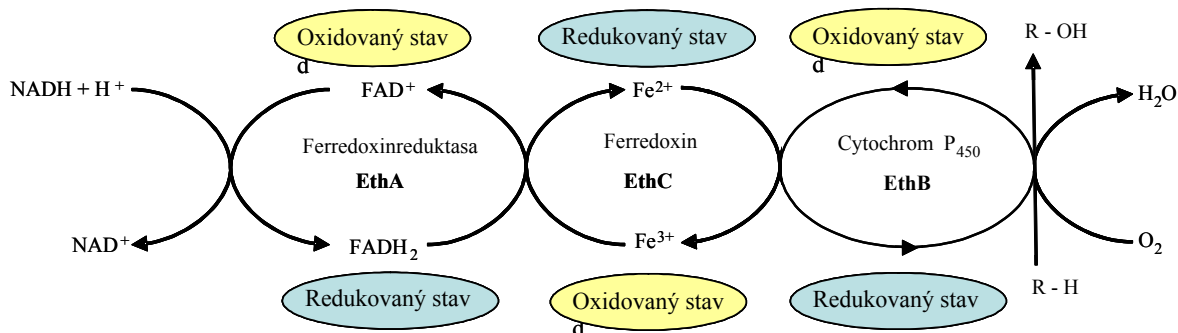
bakteriálním kmenem *Rhodococcus ruber* IPF 2001, zatímco na objasnění mechanismu štěpení MTBE se stále ještě pracuje. Pochopení a možnost aplikace vhodného biologického systému při čištění kontaminovaného prostředí opět zvýhodňuje použití ETBE místo MTBE jako benzinového aditiva.

Biochemický mechanismus počátečního kroku při biodegradaci ETBE byl popsán u kmene *Rhodococcus ruber* IPF 2001, který je schopen využít ETBE jako zdroj uhlíku a energie<sup>17</sup>. Ke štěpení etherové vazby dochází pomocí enzymu monoxygenasy za vzniku hemiacetalu, který se poté spontánně rozpadá na *tert*-butylalkohol (TBA) a acetaldehyd. U izolátu *Rhodococcus ruber* IPF 2001 se podařilo izolovat a charakterizovat skupinu enzymů (*ethRABCD*) účastnící se tohoto kroku. Pro ověření jejich aktivity byly geny tohoto komplexu klonovány do mutantu *Rhodococcus ruber* bez schopnosti degradovat ETBE a zároveň byla studována jejich struktura<sup>23</sup>.

Ačkoliv je komplex genů *ethRABCD* u izolátu *Rhodococcus ruber* IPF 2001 umístěn na chromosomu, není fenotypově stabilní, což se projevilo u klonů kultivovaných na čistém nutričně bohatém médiu, jejichž 60. generace nebyla schopna po převedení do minerálního média (médiu obsahující pouze základní anorganické soli důležité pro růst mikroorganismů) s přítomností ETBE využít samotné ETBE. Tím je vysvětlena skutečnost, že pokud kmen *Rhodococcus ruber* IPF 2001 není kultivován v přítomnosti ETBE, s vysokou frekvencí ztrácí schopnost štěpit ETBE i po následném přidavku ETBE do média. Celý komplex *ethRABCD* je tvořen pěti geny (*ethR*, *ethA*, *ethB*, *ethC* a *ethD*), jejichž exprese vznikají enzymy *ethR*, *ethA*, *ethB*, *ethC* a *ethD*. Funkce těchto enzymů je popsána dále.

Enzym *ethA* tvořený 142 aminokyselinami byl identifikován jako ferredoxinreduktasa. Obsahuje dvě vazebná místa tvořená supersekundární strukturou  $\beta\alpha\beta$  pro ADP, přičemž vazebné místo uložené na *N*-konci může zároveň sloužit jako vazebné místo pro kofaktor FAD a druhé centrální vazebné místo pro kofaktor  $\text{NAD}^+$ .

Enzym *ethB* tvořený 400 aminokyselinami svou strukturou odpovídá enzymu cytochromu  $\text{P}_{450}$ , což kromě jiného potvrzuje vazba cysteinu v pozici 349, která je konzervativní pro všechny cytochromy  $\text{P}_{450}$ . Tvorba tohoto enzymu je indukována přítomností ETBE a katalyzuje jeho



Obr. 3. Oxidace ETBE enzymovým komplexem *ethABC*; tok elektronů je zajištěn pomocí ferredoxinreduktasy (*ethA*), ferredoxinem (*ethC*) a cytochromem  $\text{P}_{450}$  (*ethB*)

oxidaci.

Enzym ethC tvořený 106 aminokyselinami byl zařazen mezi ferredoxiny [2Fe-2S] a slouží jako přenašeč elektronů mezi NADH-dependentní ferredoxinreduktasou (ethA) a cytochromem P<sub>450</sub> (ethB).

Enzym ethD složený z 103 aminokyselin je opět indukován přítomností ETBE a jeho funkce zatím není objasněna.

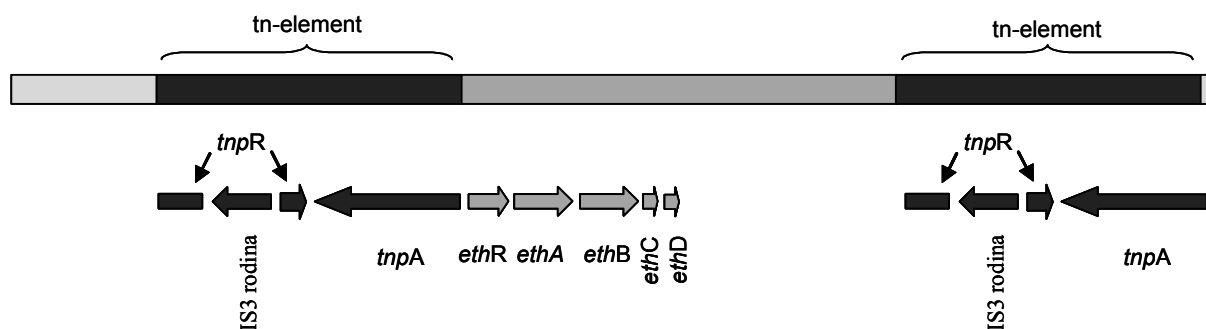
Enzym ethR tvořený 331 aminokyselinami byl zařazen mezi enzymy patřící do AraC/XylS třídy, které slouží jako pozitivní regulátory transkripce. Vazebné místo pro DNA je konzervativně uloženo mezi 250. a 325. aminokyselinou na C-konci jako u ostatních enzymů z AraC/XylS třídy.

Enzymový komplex ethABC vytváří krátký elektronový transportní systém, kde ferredoxinreduktasa (ethA) přijímá elektrony z NADH, přenáší je na ferredoxin (ethC), ten poté na cytochrom P<sub>450</sub> (ethB), který katalyzuje oxygenaci ETBE na *tert*-butoxymethanol. Celý tento systém je regulován proteinem ethR, podobný význam bude mít pravděpodobně i ethD. Průběh přenosu elektronů je zobrazen na obr. 3.

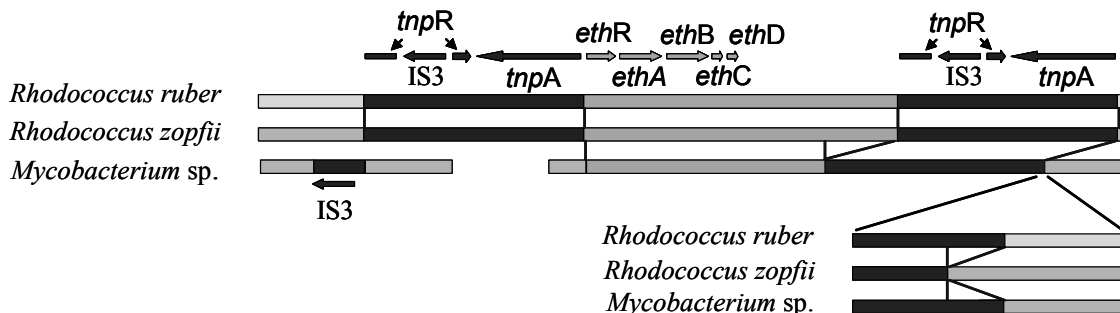
Celý komplex genů *ethRABCD* je ohraničen dvěma zcela identickými sekvencemi o velikosti 5600 párů bází (bp), první je uložena 880 bp před *ethR* a druhá se nachází

3908 bp za *ethD*. Tyto sekvence jsou tvořeny tzv. tn-elementy, které nesou genetickou informaci o transpozonu a další znaky buněčného fenotypu. Skládají se z genů *tnpA* a *tnpR*, které kódují enzymy transponasu odpovídající za transpozici a rezolvasu sloužící jako regulační bílkovina syntézy transponasy a rezolvasy. *TnpR* je navíc rozdělen tzv. IS3 rodinou, která pravděpodobně zajišťuje, že genetická informace tohoto transpozonu se výhradně týká vlastní transpozice (obr. 4). Výskyt této sekvence tn-elementů nebyl prokázán na jiném místě v genomu *Rhodococcus ruber* IPF 2001 a tudíž pravděpodobně souvisejí s funkcí genů *ethRABCD*.

Podobné uspořádání komplexu *ethRABCD* s tn-elementy bylo identifikováno u dalších kmenů schopných využít ETBE, *Rhodococcus zopfii* IPF 2005 a *Mycobacterium* sp. IFP 2009 (obr. 5)<sup>23,24</sup>. Tyto kmene byly izolovány ze stejného prostředí jako *Rhodococcus ruber* IPF 2001. Kmen *Rhodococcus zopfii* IPF 2005 vykazoval 100% identitu v uspořádání komplexu *ethRABCD* a tn-elementy s kmenem *Rhodococcus ruber* IPF 2001, což ukazuje, že tyto geny jsou konzervativní. Ovšem 3'-konec transpozonu uložený za *ethD* je o 117 nukleotidů kratší. U kmene *Mycobacterium* sp. IFP 2009 byla zachována struktura a uspořádání komplexu *ethRABCD*, ale u tn-elementu uloženého před *ethR* chyběly geny pro *tnpR*



Obr. 4. Struktura lokusu genu *ethRABCD* a sousedních genů u kmene *Rhodococcus ruber* IPF 2001; *ethR* – gen pro syntézu regulační bílkoviny, *ethA* – ferredoxinreduktasa, *ethB* – cytochrom P<sub>450</sub>, *ethC* – ferredoxin, *ethD* – bílkovina, jejíž funkce je zatím neznámá, tn-element – jednotka kódující transpozon, *tnpR* – rezolvasa, *tnpA* – transponasa, IS3 rodina – součást tn-elementu



Obr. 5. Porovnání struktury lokusu genu *ethRABCD* a tn-elementů u bakteriálních izolátů schopných využít ETBE: *Rhodococcus ruber* IPF 2001, *Rhodococcus zopfii* IPF 2005 a *Mycobacterium* sp. IFP 2009 (cit.<sup>24</sup>)

a *tnpA* a *tn*-element umístěný za *ethD* byl uložen v pozici 2771 bp. Přítomnost vysoce konzervativního komplexu genů *ethRABCD* u *Rhodococcus ruber* IPF 2001, *Rhodococcus zopfii* IPF 2005 a *Mycobacterium* sp. IFP 2009 naznačuje, že u tohoto lokusu genu může nastat mezidruhový genový transfer.

## 5. Závěr

Vývoj ekologičtějších paliv je vzhledem k neustále se rozvíjející dopravě nezbytný. Přídavek vhodného aditiva je jednou z mnoha možností, které kvalitu pohonných hmot mohou výrazně zlepšit. Dosud nejvíce používaným aditivem je MTBE. V České republice se zatím oproti ostatním zemím používajících MTBE nevyskytl závažný zdravotní problém spojený s touto látkou, ale je pravda, že i u nás nastaly problémy s jejím odstraněním z kontaminované lokality (např. po úniku benzínu v r. 2001, cit.<sup>26</sup>). Náhrada MTBE za ETBE se zdá být z dosud publikovaných informací jako pozitivní krok. Velký přínos spočívá i v možnosti výroby ETBE z obnovitelných zdrojů (bioethanol) a rychlejší biodegradace případného kontaminovaného prostředí. Zatím jedinou nezodpovězenou, ale ne zanedbatelnou otázkou je účinek ETBE na lidské zdraví. Ojedinelé studie zatím neprokázaly negativní účinky na lidský organismus, ale již fakt, že vyloučení této látky z lidského organismu je pomalejší než z krysího, ukazuje, že by se studiu toxicity této látky mělo věnovat více pozornosti.

## LITERATURA

- Iacocca V., Freeman N. C. J., Fagliano J., Liou P. J.: *Atmos. Environ.* 37, 2379 (2003).
- Phelps C. D., Young L.Y.: *Biodegradation* 10, 15 (1999).
- Fernandez L., Keller A. A.: *Environ. Sci. Policy* 3, 173 (2000).
- Piveteau P., Fayolle F., Vandecasteele J.-P., Monot F.: *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 55, 369 (2001).
- U.S. Environmental Protection Agency: Office of Water 4304, EPA-822-F-97-009 (U.S. EPA 1997).
- Johnson E. L., Smith C. A., O'Reilly K. T., Hyman M. R.: *Appl. Environ. Microbiol.* 70 (2), 1023 (2004).
- Hakkola M., Honkasalo M. L., Pulkkinen P.: *Occup. Environ. Med.* 46, 125 (1996).
- Borak J., Pastides H., Van Ert M., Russi M., Herzstein J.: *Human Ecol. Risk Assessment* 4, 177 (1998).
- Fiedler N., Kelly-McNeil K., Mohr S., Lehrer P., Opiekun R. E., Lee C., Wainman T., Hamer R., Weisel C., Edelberg R., Liou P. J.: *Environ. Health Perspect.* 108 (8), 753 (2000).
- Ahmed F. E.: *Toxicol. Lett.* 123 (2-3), 89 (2001).
- Kittel H.: *Mezinárodní konference Motorová paliva 2002, Vyhne, SR 17.-20.6.2002.*
- [http://www.dpmmc.gov.au/biofuels/report/chapter\\_4.doc](http://www.dpmmc.gov.au/biofuels/report/chapter_4.doc), (staženo 20.10.2006).
- Vosahlíková M., Cajthaml T., Demnerová K., Pazlarová J.: *Environ. Toxicol.* 21, 599 (2006).
- Amberg A., Rosner E., Dekant W.: *Toxicol. Sci.* 53, 194 (2000).
- Medinsky M. A., Wolf D. C., Cattley R. C., Wong B., Janszen D. B., Farris G. M., Wright G. A., Bond J. A.: *Toxicol. Sci.* 51, 108 (1999).
- Steffan R. J., McClay K. T., Vainerg S., Condee C. W., Zhang D.: *Appl. Environ. Microbiol.* 63, 4216 (1997).
- Fayolle F., Hernandez G., Le Roux F., Vandecasteele J.-P.: *Biotechnol. Lett.* 20, 283 (1998).
- Hernandez-Perez G., Fayolle F., Vandecasteele J.-P.: *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 55, 117 (2001).
- Smith C. A., O'Reilly K. T., Hyman M. R.: *Appl. Environ. Microbiol.* 69, 796 (2003).
- Kharoune M., Kharoune L., Lebeault J. M., Paus A.: *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 55, 348 (2001).
- Kharoune M., Kharoune L., Lebeault J. M., Paus A.: *Environ. Toxicol. Chem.* 21, 2052 (2002).
- Ferreira N. L., Malandain C., Fayoll-Guichard F.: *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 72, 252 (2006).
- Fayolle F., Vandecasteele J.-P., Monot F.: *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 56, 339 (2001).
- Chauvaux S., Chevalier F., le Dantec C., Fayolle F., Mirax I., Kunst F., Béguin P.: *J. Bacteriol.* 183, 6551 (2001).
- Béguin P., Chauvaux S., Miras I., François A., Fayolle F., Monot F.: *Oil Gas Sci. Technol. – Rev. IFP* 58, 489 (2003).
- [http://www.enviweb.cz/?env=voda\\_archiv\\_gaedi\\_it](http://www.enviweb.cz/?env=voda_archiv_gaedi_it) (staženo 20.10.2006).

**M. Vošahlíková, K. Demnerová, and J. Pazlarová**  
(*Department of Biochemistry and Microbiology, Institute of Chemical Technology, Prague*): **Possible Benefits of Replacing Methyl *tert*-Butyl Ether with Ethyl *tert*-Butyl Ether**

This report briefly informs about advantages and disadvantages of ethyl *tert*-butyl ether (ETBE) as an additive to gasoline and about its biodegradability. This compound could substitute the most used *tert*-butyl methyl ether (MTBE), which has been repeatedly detected as a contaminant in groundwater, drinking water, rivers, air and snow. ETBE has similar properties to MTBE, but its manufacture is more expensive than that of MTBE. The main advantage of ETBE is its easier biodegradability compared with MTBE. The use of ETBE seems to involve no health risk; however, its properties and environmental consequences of its use must be checked.