

VLASTNOSTI A ANALÝZA TUHÝCH ALTERNATIVNÍCH PALIV

Martin Staš, Zdeněk Beňo

Ústav udržitelných paliv a zelené chemie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha, Martin.Stas@vscht.cz

Vzhledem k rostoucím environmentálním výzvám a snaze o snížení závislosti na fosilních palivech se stále více pozornosti věnuje alternativním palivům, včetně biopaliv. Tento článek se zaměřuje na přehled technických požadavků a metod zkoušení alternativních paliv pevného skupenství. Hlavní důraz je kladen na dvě klíčové skupiny – tuhá biopaliva a tuhé alternativní palivo (TAP). Článek poskytuje souhrn požadovaných vlastností těchto paliv, popis dostupných metod jejich testování a význam jednotlivých analýz pro jejich hodnocení a využití v praxi.

Klíčová slova: tuhá alternativní paliva, tuhá biopaliva, TAP

Došlo 21. 2. 2025, přijato 17. 3. 2025

1. Úvod

Tuhá alternativní paliva jsou alternativní paliva pevného skupenství. Normy ČSN rozlišují dva druhy tuhých alternativních paliv, a to: (i) tuhá alternativní paliva z biomasy, která se označují jako **tuhá biopaliva** a (ii) tuhá alternativní paliva z jiného než nebezpečného odpadu, která se označují zkratkou **TAP**.

Tuhé biopalivo je alternativní palivo pevného skupenství pocházející výhradně z biomasy. Dle normy ČSN EN ISO 16559 [1] může tuhé biopalivo představovat surový nebo zpracovaný materiál pocházející z: (i) lesnictví, ovocnářství a sadařství, (ii) zemědělství a zahradnictví anebo (iii) akvakultury [1]. Tuhá biopaliva se klasifikují do skupin a podskupin podle tří základních charakteristik: (i) původ a zdroj, (ii) hlavní obchodní forma a (iii) vlastnosti [2]. Specifikace klasifikačních skupin a podskupin pro původ a zdroj a hlavní obchodní formu jsou mimo rozsah tohoto článku. Tyto skupiny jsou podrobně specifikovány v normě ČSN EN ISO 17225-1 [2]. Požadované vlastnosti tuhých biopaliv jsou specifikovány v kap. 2.

Tuhé alternativní palivo (TAP) je palivo pevného skupenství, jehož zdrojem je odpad, který není klasifikovaný jako nebezpečný. Dle ČSN EN ISO 21637 [3] je TAP definováno jako tuhé palivo vyrobené z jiného než nebezpečného odpadu určené k energetickému využití a zužitkování ve spalovnách nebo zařízeních pro spoluspalování, které splňuje požadavky na třídění a specifikaci stanovené v této normě. Zdrojem TAP může být specifický odpad z výroby, tuhý komunální odpad, průmyslový odpad, obchodní odpad, odpad ze staveb a demolice, čistírenský kal atd. TAP tedy může obsahovat i určitý podíl z biomasy, ale nejedná se o tuhé biopalivo, protože obsahuje i nebiologické složky [3].

Dle ČSN EN ISO 21640 [4] musí TAP splňovat následující požadavky: (i) musí být klasifikováno dle systému uvedeného v následujícím odstavci, (ii) musí splňovat kvalitativní požadavky dle pravidel shody definovaných v této normě a (iii) musí pro ně být specifikovány vlastnosti uvedené v kap. 2 [4].

Tab. 1 Systém klasifikace TAP [4]

Tab. 1 Classification system of solid recovered fuels (SRF) [4]

Charakteristika	St. míra	Třída				
		1	2	3	4	5
Výhřevnost (MJ/kg)	Průměr	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
Chlor % (m/m)	Průměr	≤0,2	≤0,6	≤1,0	≤1,5	≤3
Rtuť (mg/MJ)	Medián	≤0,02	≤0,03	≤0,05	≤0,10	≤0,15
	80. percentil	≤0,04	≤0,06	≤0,10	≤0,20	≤0,30

- *Systém klasifikace TAP* je založen na limitních hodnotách pro tři charakteristiky, a to (i) průměrná hodnota výhřevnosti, (ii) průměrná hodnota obsahu chloru a (iii) medián a 80. percentil hodnot obsahu rtuti, viz tab. 1. Každá charakteristika je rozdělena do pěti tříd a je jí přiřazeno číslo 1–5 [4].
- *Pravidla shody* požadují, aby pro každou charakteristiku ze systému klasifikace platilo, že vlastnosti TAP vyhovují limitním hodnotám definovaným pro tuto třídu, a to po dobu 12 měsíců [4].
- *Vlastnosti TAP* jsou specifikovány v tab. 2 a kap. 2. Některé z těchto vlastností musí být sledované povinně, sledování jiných vlastností je nepovinné [4].

V tomto článku představujeme přehled technických požadavků a analytických zkoušek předepsaných pro tuhá biopaliva a TAP. Důraz je kladen na parametry a zkoušky předepsané příslušnými normami. U analytických metod jsou komentovány principy stanovení a taky význam jednotlivých stanovení.

2. Analýza tuhých alternativních paliv

Tato kapitola představuje analytické zkoušky používané k testování požadavků na složení a vlastnosti tuhých biopaliv a TAP, které jsou předepsané příslušnými normami. Přehled těchto vlastností je rovněž uveden v tab. 2.

Tab. 2 Přehled sledovaných vlastností u tuhých biopaliv a TAP [2,4]**Tab. 2** Overview of monitored properties of solid biofuels and solid recovered fuels (SRFs) [2,4]

Vlastnost nebo parametr	Tuhá biopaliva		Ref.	Tuhé alternativní palivo (TAP)		Ref.	Kap.
	Poznámka	Norma ČSN EN		Poznámka	Norma ČSN		
Původ	–	ISO 17225-1	[2]	druh odpadu použitý pro výrobu TAP povinně sledované	EN ISO 21640	[4]	1
Obchodní forma	piliny, hobliny, pelety, brikety, balíky, pecky, dřevěné uhlí, tepelně upravená biomasa a jiné	ISO 17225-1	[2]	–	–	–	–
Kód třídy	–	–	–	viz tab. 1 povinně sledované	EN ISO 21640	[4]	1
Tvar částic	pelety, brikety, vločky, štěpky atd.	ISO 17225-1	[2]	pelety, brikety, vločky, štěpky atd. povinně sledované	EN ISO 21640	[4]	–
Velikost částic	prosévání nebo ekvivalentní metoda	ISO 17827-2	[5]	prosévání nebo ekvivalentní metoda povinně sledované	EN 15415-1	[6]	2.1
Obsah popela	bezvodý stav	ISO 18122	[7]	bezvodý stav povinně sledované	EN ISO 21656	[8]	2.2
Obsah vody	původní (mokrý) stav	ISO 18134-1 ISO 18134-2 ISO 18134-3	[9] [10] [11]	původní (mokrý) stav povinně sledované	P CEN/TS 15414-1 P CEN/TS 15414-2 EN ISO 21660-3	[12] [13] [14]	2.3.1 2.3.2 2.3.3
Výhřevnost	původní i bezvodý stav	ISO 18125	[15]	původní i bezvodý stav povinně sledované	EN ISO 21654	[16]	2.4
Sypná hmotnost	původní stav	ISO 17828	[17]	nepovinně sledované	P CEN/TS 15401	[18]	2.5
Hustota částic	původní stav	ISO 18847	[19]	–	–	–	2.6
Prchavá hořlavina	bezvodý stav	ISO 18123	[18]	nepovinně sledované	EN ISO 22167	[18]	2.7
Obsah CHN	bezvodý stav	ISO 16948	[20]	nepovinně sledované	EN ISO 21663	[21]	2.8.1
Obsah síry a halogenů	síra a chlór v bezvodém stavu	ISO 16994	[22]	chlór v bezvodém stavu povinně sledované	EN 15408	[23]	2.8.2
Obsah hlavních a stopových prvků	Hlavní stopové	ISO 16967 ISO 16968	[24] [25]	hlavní stopové povinně sledované	EN 15410 EN 15411	[26] [27]	2.8.3
Charakter tání popela	teplota deformace, tečení, (polo)kulovitěho tvaru	ISO 21404	[28]	nepovinně sledované	–	–	2.9
Mechanická odolnost	pro brikety a pelety	ISO 17831-1 ISO 17831-2	[29] [30]	Pelety nepovinně sledované	P CEN/TS 15639	–	2.10
Obsah biomasy	–	–	–	nepovinně sledované	EN 15440	[31]	2.11
Složení	–	–	–	% (m/m) hlavních frakcí (např. dřevo, papír, plast, stav – bezvodý nebo vlhký) nepovinně sledované	EN ISO 21640	[4]	2.12
Příprava paliva	–	–	–	drcení, mletí, prosévání, sušení, zhutnění atd.) nepovinně sledované	EN ISO 21640	[4]	2.12

Z tab. 2 plyne, že tuhá biopaliva jsou specifikována na základě následovných parametrů: původ, obchodní forma, tvar a velikost částic, obsah popela, obsah vody, výhřevnost, sytná hmotnost, hustota částic, prchavá hořlavina, charakter tání popela, mechanická odolnost a chemické vlastnosti. Chemické vlastnosti zahrnují obsah uhlíku, vodíku, dusíku, síry a chlóru [2].

Z tab. 2 dále vyplývá, že specifikace TAP zahrnuje povinně a nepovinně sledované parametry. Mezi parametry **povinné** patří kód třídy, původ, tvar a velikost částic, obsah popela, obsah vody, výhřevnost a chemické vlastnosti. Z chemických vlastností se povinně sleduje obsah chlóru, celkový obsah těžkých kovů a koncentrace jednotlivých těžkých kovů. **Nepovinné** parametry zahrnují obsah biomasy, složení, způsob přípravy TAP a vybrané fyzikální a chemické vlastnosti. Mezi fyzikálními vlastnostmi lze nepovinně sledovat například sytnou hmotnost, charakter tání popela nebo prchavou hořlavinu, zatímco z nepovinných chemických vlastností to jsou koncentrace majoritních a vybraných stopových prvků [4].

2.1. Velikost částic

Velikost částic je důležitým parametrem tuhých paliv, který má vliv na efektivitu spalování. Menší částice mají větší specifický povrch, což umožňuje efektivnější a rychlejší spalování. Na druhé straně příliš malé částice mohou zvyšovat prašnost materiálu a jeho ztráty. Příliš velké částice mohou naopak ucpávat zařízení a jejich hoření může být pomalé a neúplné [5,6].

Při stanovení velikosti částic se nejčastěji využívá síťová analýza, při níž se vzorek prosévá přes sadu sít s definovanou velikostí otvorů umístěných v síťovém analyzátoru. Síťový analyzátor vibruje anebo se síta mechanicky protřásají. Po prosévání se zváží množství materiálů zachyceného na jednotlivých sítích. Tento proces však může vést k destrukci vzorků s nižší mechanickou pevností, což může ovlivnit přesnost výsledků [5,6].

Velikost částic se sleduje u tuhých biopaliv i TAP, viz tab. 2.

2.2. Obsah popela

Popel je netěkavý zbytek po úplném spálení vzorku. Jeho obsah poskytuje cenné informace o množství minerálních látek a kovů přítomných ve vzorku. Na základě množství a složení popela lze posoudit čistotu či kvalitu paliva – například vysoký obsah popela může naznačovat přítomnost aditiv nebo kontaminantů [32].

Stanovení obsahu popela se provádí tak, že zvážený vzorek umístěn ve vhodné nádobě je zapálen a shoří za přítupu vzduchu na popel a uhlík. Následně je uhlíkatý zbytek žhán v muflové peci, ochlazen a zvážen. Obsah popela se vypočítá z poměrů hmotností vzorku před a po zkoušce a udává se v % (m/m) [7,8].

Obsah popela se stanovuje pro tuhá biopaliva i pro TAP, viz tab. 2.

2.3. Obsah vody

Přítomnost vody v palivech je nežádoucí především proto, že voda snižuje jejich energetickou hodnotu – část vyprodukované energie se totiž spotřebuje na odpaření vlhkosti místo na efektivní spalování. Vysoký obsah vody také zvyšuje náchylnost tuhého paliva k degradaci, například k práchnivění, růstu plísní nebo ke slepování částic, což může komplikovat jeho skladování a manipulaci.

Obsah vody lze v tuhých palivech stanovit pomocí tří základních metod, a to referenční, zjednodušené a analytické. První dvě metody používají relativně vysokých navážek vzorku, a to až přibližně 300 g. Poslední metoda se provádí v analytickém vzorku o velikosti přibližně 1 g.

Podstatou všech tří metod je sušení vzorku v sušárně při předepsané teplotě do konstantní hmotnosti. Všechny tři metody se používají jak pro tuhá biopaliva, tak pro TAP, viz tab. 2.

2.3.1 Obsah celkové vody referenční metodou

Při referenční metodě se použije navážka vzorku o hmotnosti $300 \pm 0,1$ g, která se rovnoměrně rozprostře na předem zvážený podnos. Vzorek se následně suší v sušárně při teplotě 105 ± 2 °C až do dosažení konstantní hmotnosti. Konstantní hmotnost je definována jako změna nepřesahující 0,2 % absolutní hodnoty počáteční hmotnosti vzorku během 60 minut sušení [9,12].

Metoda se vyznačuje vysokou přesností, přičemž se zohledňuje i vliv vztlaku. Maximální rozměr částic vzorku pro toto stanovení je 31,5 mm. V případě potřeby lze dobu sušení zkrátit mechanickým rozmělněním vzorku, avšak tento proces nesmí ovlivnit obsah vody ve vzorku [9,12].

2.3.2 Obsah celkové vody zjednodušenou metodou

Při zjednodušené metodě se používá navážka vzorku o hmotnosti $300 \pm 0,1$ g, která se rovnoměrně rozprostře na předem zvážený podnos. Vzorek se následně suší v sušárně při teplotě 105 ± 2 °C až do dosažení konstantní hmotnosti. Konstantní hmotnost je definována podobně jako u referenční metody jako změna nepřesahující 0,2 % absolutní hodnoty počáteční hmotnosti vzorku během 60 minut sušení [10,13].

Stanovení má menší přesnost, protože nezahrnuje vliv vztlaku. Maximální rozměr částic vzorku pro tuto metodu je 31,5 mm. Pro zkrácení doby sušení může být vzorek mechanicky rozmělněn, avšak tento proces nesmí ovlivnit obsah vody ve vzorku [10,13].

2.3.3 Obsah celkové vody v analytickém vzorku pro celkový rozbor

Po promíchání se z analytického vzorku odváží $1 \pm 0,001$ g do váženky s víčkem. Vzorek se poté umístí do sušárny předehřáté na teplotu 105 ± 2 °C a suší se otevřený až do dosažení konstantní hmotnosti. Konstantní hmotnost je definována jako změna nepřesahující 0,001 g během 60 minut sušení [11,14].

Po ukončení sušení se vzorek vyjme ze sušárny, zakryje se víčkem a nechá se ochladit v exsikátoru na

okolní teplotu. Ihned po vyjmutí z exsikátoru se rychle zváží. Maximální rozměr částic vzorku pro toto stanovení je 1 mm [11,14].

2.4. Výhřevnost

Výhřevnost paliva definuje množství tepelné energie, které lze získat spálením jednotkového množství tohoto paliva za standardních podmínek. Hodnota výhřevnosti souvisí s chemickým složením paliva, a to zejména na obsahu uhlíku, vodíku, kyslíku, vody a popelovin [33].

Výhřevnost tuhých paliv se stanovuje nepřímou, a to výpočtem ze spalného tepla a známého obsahu vody a vodíku. Spalné teplo se získává kalorimetrickou metodou, jejíž podstata spočívá ve spálení části vzorku o známé hmotnosti v kyslíkové atmosféře v tlakové nádobě kalorimetru za vysokého tlaku při předepsaných podmínkách. Kalibrace systému se provádí stanovením tepelné kapacity měřící cely kalorimetru spálením kyseliny benzoové – množství energie potřebné k jednotkové změně teploty v kalorimetru (o 1 K). Získá se tak opravený teplotní vzestup – změna teploty v kalorimetru způsobená výhradně reakcemi probíhajícími v kalorimetrické bombě [33].

Výhřevnost se sleduje u tuhých biopaliv i u TAP, a to v původním (mokrém) i bezvodém stavu, viz tab. 2.

2.5. Sypná hmotnost

Sypná hmotnost udává hmotnost objemové jednotky volně nasypaného materiálu a zahrnuje tedy pevné částice včetně vzduchových mezer mezi nimi. Udává se nejčastěji v kg/m^3 . Tento parametr je klíčový zejména pro paliva dodávaná na základě objemu, výpočet konstrukcí zásobníků a provoz automatizovaných dopravních systémů. Sypná hmotnost ovlivňuje plynulost toku materiálu, což má přímý dopad na rovnoměrnost dodávky paliva a celkovou efektivitu spalování. Vyšší sypná hmotnost znamená, že se do daného objemu vejde více tuhého paliva, což zlepšuje logistiku, skladování a optimalizuje provoz spalovacích zařízení [33].

Podstata stanovení spočívá v naplnění válcové nádoby známého objemu analyzovaným palivem a jejím zvážení. Nejdříve se stanoví objem nádoby naplněním vodou a zvážení. Následně se nádoba naplní vzorkem a provede se setřesení, které se několikrát opakuje. Odstraní se přebytek vzorku a nádoba se zváží [33].

Sypná hmotnost se sleduje u tuhých biopaliv, u TAP představuje nepovinný parametr, viz tab. 2.

2.6. Hustota částic

Hustota částic udává hmotnost pevného materiálu na jednotku objemu, přičemž nezahrnuje vzduchové mezery mezi částicemi. Vyjadřuje se v kg/m^3 a je specifická pro různé druhy biomasy. Tento parametr charakterizuje schopnost zhutnění materiálu a ovlivňuje jeho vlastnosti [19].

Paliva s vyšší hustotou částic mají větší energetický obsah na jednotku objemu, spalují se efektivněji a zabírají méně místa, což usnadňuje jejich skladování. Navíc

jsou odolnější vůči oděru a méně náchylná k praskání při manipulaci [19].

Při měření se stanovuje hmotnost a objem buď jednotlivé částice, nebo skupiny částic. Objem se určuje na základě vztaku v kapalině, přičemž princip měření vychází z fyzikálního zákona, podle něhož se vztlak rovná hmotnosti kapaliny vytlačené ponořeným tělesem. Rozdíl mezi hmotností materiálu váženého na vzduchu a jeho hmotností při ponoření do kapaliny odpovídá vztaku. Na základě hustoty použité kapaliny se následně vypočítá objem měřeného vzorku [19].

Hustota částic se sleduje u tuhých biopaliv, pro TAP může představovat jeden z doplňkových, nepovinných parametrů.

2.7. Prchavá hořlavina

Prchavá hořlavina zahrnuje těkavé složky, které se při zahřívání paliva bez přístupu vzduchu uvolňují ve formě plynů a par. Obsah prchavé hořlaviny v palivu ovlivňuje jeho zapalitelnost, rychlost spalování a celkové spalovací vlastnosti. Vyšší podíl prchavé hořlaviny usnadňuje zapálení a zajišťuje intenzivnější hoření, zatímco nízkoprchavá paliva hoří pomaleji a vyžadují vyšší spalovací teplotu. Tento parametr je důležitý při výběru vhodné spalovací technologie a optimalizaci spalovacího procesu [33].

Podstata stanovení spočívá ve sledování úbytku hmotnosti paliva při zahřívání bez přístupu vzduchu (přepočítáno na obsah vody) [18].

2.8. Prvkové složení

Pro tuhá biopaliva i TAP patří mezi specifikační kritéria jejich chemické vlastnosti.

U tuhých biopaliv se sleduje celkový obsah uhlíku, vodíku, dusíku, síry a chlóru [2]. Obsah uhlíku, vodíku a dusíku se stanovuje organickou elementární analýzou, viz kap. 2.8.1. Stanovení síry a chlóru je popsáno v kap. 2.8.2.

Také u TAP hrají chemické vlastnosti důležitou roli ve specifikaci. Chemické vlastnosti se zde dělí na vlastnosti sledované povinně a nepovinně. Mezi povinně sledované vlastnosti patří obsah chlóru, celkový obsah těžkých kovů a obsah jednotlivých těžkých kovů. Nepovinně se sleduje obsah hlavních prvků a vybraných stopových prvků, viz kap. 2.8.3.

2.8.1 Stanovení CHN

CHN stanovení se provádí organickou elementární analýzou, při níž se vzorek spaluje v proudu kyslíku při vysoké teplotě, přibližně 1200 °C. Při tomto procesu vznikají plynné produkty, jako CO_2 , H_2O , N_2 , SO_2 , NO_x , SO_3 a zbytkový O_2 . Tyto plyny následně procházejí katalytickou redukcí, po které jsou vyčištěny, separovány na jednotlivé složky a analyzovány pomocí vhodného detektoru, například tepelně-vodivostního, infračerveného nebo plamenově-fotometrického. Více podrobností k organické elementární analýze je uvedeno v našem předšlém článku Staš a kol. [34]. Pro tuhá biopaliva se CHN analýza provádí postupem dle ČSN EN ISO 16948 [20].

Pro TAP je CHN analýza popsána v normě ČSN EN ISO 21663 [21].

2.8.2 Obsah síry a halogenů

Síra a halogeny jsou v tuhých palivech obecně nežádoucí. Síra působí jako katalytický jed a zároveň představuje environmentální problém, protože při spalování vytváří oxid siřičitý, který přispívá ke znečištění ovzduší. Halogeny mohou vést k tvorbě nebezpečných sloučenin. Zvláště chlór je problematický, protože při spalování produkuje chlorovodík, který má silné korozní účinky na kovové součásti zařízení.

U tuhých biopaliv se obsah síry a chlóru stanovuje dle postupu v ČSN EN ISO 16994 [22]. U TAP se obsah síry, chlóru a dalších halogenů stanovuje dle normy ČSN EN 15408 [23].

Stanovení síry a halogenů zahrnuje kombinaci rozkladu vzorku, zakoncentrování prvků do absorpčního roztoku a analýzy iontovou chromatografií, optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (pouze [22]) nebo titrací [22,23]. Je zde nutno zmínit, že u TAP je obsah chlóru jedním z hlavních klasifikačních kritérií tohoto paliva, viz kap. 1.

2.8.3 Obsah kovů a vybraných nekovových prvků

U TAP se nepovinně sledují hlavní a stopové prvky. Mezi hlavní prvky patří Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si a Ti. Jejich stanovení se provádí podle normy ČSN EN 15410 [26]. Mezi stopové prvky patří As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V a Zn. Jejich stanovení se provádí dle ČSN EN 15411 [27]. Je zde nutno zmínit, že z těchto prvků se nepovinně sledují pouze některé. Pro TAP se povinně sleduje obsah rtuti, který je jedním z hlavních klasifikačních kritérií, viz kap. 1. Povinně se rovněž sleduje celkový obsah těžkých kovů a obsahy jednotlivých těžkých kovů, viz tab. 2.

Postupy pro stanovení hlavních a stopových prvků pro tuhá biopaliva jsou specifikované v normách ČSN EN ISO 16967 [24] (hlavní) a ČSN EN ISO 16968 [24] (stopové). Obsah hlavních a stopových prvků však u tuhých biopaliv patří pouze mezi doplňková, a tedy nepovinná stanovení.

2.9. Charakter tání popela

Tento parametr charakterizuje chování pevného vzorku během spalování za vysokých teplot, např. sklon k tvorbě roztavených usazenin nebo strusky. Při měření se vzorek popela zahřívá za definovaných podmínek a zaznamenávají se teploty, při kterých dochází k charakteristickým změnám (deformace, změna tvaru, tečení) [28].

2.10. Mechanická odolnost

Mechanická odolnost tuhého paliva charakterizuje chování a vlastnosti paliva při skladování, manipulaci a spalování. Paliva s větší mechanickou odolností jsou méně prašné, méně se drojí a spalují se efektivněji [29,30].

Zkoušený vzorek se podrobí řízeným nárazům vzájemným narážením pelet nebo briket na stěny otáčejícího

se zkušebního bubnu. Mechanická odolnost v procentech se určuje z podílu hmotnosti vzorku po zkoušce po oddělení odrovných částic a hmotnosti původního vzorku [29,30].

2.11. Obsah biomasy v TAP

Obsah biomasy je jeden z nepovinně sledovaných parametrů u TAP. Stanovení lze provést dle normy ČSN EN 15440 [31], která specifikuje tři postupy, a to (i) metodu selektivního rozpouštění, (ii) metodu ručního třídění a (iii) radiokarbonovou metodu [31].

Metoda selektivního rozpouštění je založena na rozdílné rozpustnosti biomasy a nebiologického podílu TAP ve vybraných rozpouštědlech [31].

Metoda ručního třídění je založena na třídění různých frakcí podle vizuálních hledisek. Vzorek TAP je rozdělen na podíl odpovídající biomase a nebiomase a tyto podíly se zváží. Biomasový podíl může zahrnovat např. dřevo, papír nebo přírodní textilie. Nebiomasový podíl tvoří např. pryž, plasty nebo jiný nebiologický materiál [31].

Stanovení obsahu biomasy pomocí radiokarbonové (^{14}C) metody je založeno na postupech, které se obvykle používají pro stanovení stáří předmětů obsahujících uhlík. Měří se poměr izotopů $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$, jelikož ^{14}C izotop je přítomen v biomase, ale ne ve fosilních materiálech [31].

2.12. Další parametry

Pro TAP jsou definované ještě další dosud nezmiňované parametry, a to složení a příprava paliva. V obou případech se jedná o vlastnosti nepovinné pro specifikaci TAP. Parametr složení TAP specifikuje obsah hlavních frakcí jako např. dřevo, papír, plast, guma, textil, atd. vyjádřené jako hmotnostní zlomek. Popis přípravy paliva může obsahovat cenné informace důležité pro skladování, dopravu a využití TAP [4].

3. Závěr

Tento článek poskytuje přehled technických požadavků a metod zkoušení pro tuhá biopaliva a TAP, jak je stanovují příslušné normy.

Tuhá biopaliva, jako jsou dřevní pelety, brikety nebo štepka, jsou klíčovými prvky v přechodu na obnovitelné zdroje energie. Představují ekologickou alternativu k fosilním palivům, přispívají k energetické soběstačnosti a snižují emise CO_2 . TAP vznikají z upraveného odpadu a umožňují efektivní využití materiálů, které by jinak skončily na skládkách. Pro jejich bezpečné a ekologické spalování je však nutné pečlivě kontrolovat obsah škodlivých látek.

Oba typy paliv hrají důležitou roli v udržitelném hospodaření s energií, podporují cirkulární ekonomiku a přispívají k ochraně životního prostředí.

Poděkování

Tento výstup vznikl v rámci projektu Specifického vysokoškolského výzkumu – projekt č. 215 002 2641 a A1_FTOP_2022_006.

Literatura

1. ČSN EN ISO 16559: Tuhá biopaliva - Slovník, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-16559-838200-248300.html#>.
2. ČSN EN ISO 17225-1: Tuhá biopaliva - Specifikace a třídy paliv - Část 1: Obecné požadavky, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-17225-1-838202-245761.html#>.
3. ČSN EN ISO 21637: Tuhá alternativní paliva - Slovník, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-21637-838300-246370.html#>.
4. ČSN EN ISO 21640: Tuhá alternativní paliva - Specifikace a třídy, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-21640-838302-246371.html#>.
5. ČSN EN ISO 17827-2: Tuhá biopaliva - Stanovení rozdělení podle velikosti částic neslisovaných paliv - Část 2: Metoda třídění vibračními síty s otvory o velikosti 3,15 mm a menšími, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-17827-2-838219-252387.html>.
6. ČSN EN 15415-1: Tuhá alternativní paliva - Stanovení rozdělení podle velikostí částic - Část 1: Metoda třídění sítím pro malé rozměry částic, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-15415-1-838319-231935.html#>.
7. ČSN EN ISO 18122: Tuhá biopaliva - Stanovení popela, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-18122-838210-249461.html#>.
8. ČSN EN ISO 21656: Tuhá alternativní paliva - Stanovení popela, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-21656-838307-245042.html#>.
9. ČSN EN ISO 18134-1: Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Část 1: Referenční metoda, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-18134-1-838220-249267.html>.
10. ČSN EN ISO 18134-2: Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Část 2: Zjednodušená metoda, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-18134-2-838220-252196.html#>.
11. ČSN EN ISO 18134-3: Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Část 3: Obsah vody v analytickém vzorku pro obecný rozbor, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-18134-3-838220-250433.html>.
12. ČSN P CEN/TS 15414-1: Tuhá alternativní paliva - Stanovení obsahu vody metodou sušení v sušárně - Část 1: Stanovení veškeré vody referenční metodou, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-p-cen-ts-15414-1-838318-231929.html>.
13. ČSN P CEN/TS 15414-2: Tuhá alternativní paliva - Stanovení obsahu vody metodou sušení v sušárně - Část 2: Stanovení veškeré vody zjednodušenou metodou, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-p-cen-ts-15414-2-838318-231931.html>.
14. ČSN EN ISO 21660-3: Tuhá alternativní paliva - Stanovení obsahu vody metodou sušení v sušárně - Část 3: Voda v analytickém vzorku pro obecný rozbor, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-21660-3-838318-245043.html>.
15. ČSN EN ISO 18125: Tuhá biopaliva - Stanovení spalného tepla a výhřevnosti, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-18125-838214-231816.html>.
16. ČSN EN ISO 21654: Tuhá alternativní paliva - Stanovení spalného tepla a výhřevnosti, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-21654-838304-250827.html>.
17. ČSN EN ISO 17828: Tuhá biopaliva - Stanovení sypné hmotnosti, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-17828-838215-231819.html>.
18. ČSN EN ISO 18123: Tuhá biopaliva - Stanovení prchavé hořlaviny, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-18123-838222-250329.html>.
19. ČSN EN ISO 18847: Tuhá biopaliva - Stanovení hustoty částic pelet a briket, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-18847-838218-252385.html>.
20. ČSN EN ISO 16948: Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu celkového uhlíku, vodíku a dusíku, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-16948-838216-231822.html>.
21. ČSN EN ISO 21663: Tuhá alternativní paliva - Metody stanovení obsahu uhlíku (C), vodíku (H), dusíku (N) a síry (S) instrumentální metodou, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-21663-838311-231916.html>.
22. ČSN EN ISO 16994: Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu celkové síry a celkového chloru, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-16994-838226-231869.html>.
23. ČSN EN 15408: Tuhá alternativní paliva - Metody stanovení obsahu síry (S), chloru (Cl), fluoru (F) a bromu (Br), <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-15408-838312-231918.html>.
24. ČSN EN ISO 16967: Tuhá biopaliva - Stanovení majoritních prvků - Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na a Ti, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-16967-838223-231857.html>.
25. ČSN EN ISO 16968: Tuhá biopaliva - Stanovení stopových prvků, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-16968-838224-231860.html>.
26. ČSN EN 15410: Tuhá alternativní paliva - Metody stanovení obsahu hlavních prvků (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si, Ti), <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-15410-838314-231920.html>.
27. ČSN EN 15411: Tuhá alternativní paliva - Metody stanovení obsahu stopových prvků (As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, V a Zn), <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-15411-838315-231922.html>.
28. ČSN EN ISO 21404: Tuhá biopaliva - Stanovení tavitelnosti popela, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-21404-838227-231872.html>.
29. ČSN EN ISO 17831-1: Tuhá biopaliva - Stanovení mechanické odolnosti pelet a briket - Část 1: Pelety, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-17831-1-838221-231848.html>.

30. ČSN EN ISO 17831-2: Tuhá biopaliva - Stanovení mechanické odolnosti pelet a briket - Část 2: Brikety, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-17831-2-838221-231851.html>.
31. ČSN EN ISO 21644: Tuhá alternativní paliva - Metody stanovení obsahu biomasy, <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-21644-838303-246372.html>.
32. Staš M., Kittel H., Matějovský L., Šimáček P.: *Metody hodnocení čistoty a spalovacích charakteristik motorových paliv*. Paliva (2024), **16** (4), 119-124, doi: <https://doi.org/10.35933/paliva.2024.04.02>.
33. Šešulka V., *Analýza paliv*. 1970, Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury : Alfa.
34. Staš M., Baroš P., Matějovský L., Kittel H., Šimáček P.: *Obecné metody hodnocení paliv I: Stanovení prvků a neuhlovodíkových sloučenin v kapalných a plynných palivech*. Paliva (2023), **15** (2), 37-49, doi: <https://doi.org/10.35933/paliva.2023.02.01>.

Summary

Properties and Analysis of Solid Alternative Fuels

Martin Staš, Zdeněk Beňo

As environmental challenges grow and efforts to reduce dependence on fossil fuels intensify, alternative fuels, including biofuels, are gaining attention. This article provides an overview of the technical requirements and testing methods for solid alternative fuels, focusing on two key types: solid biofuels and solid recovered fuel (SRF). It summarizes their essential properties, available testing methods, and the significance of individual analyses for evaluation and practical use.

Solid biofuels, such as wood pellets, briquettes, and wood chips, play a vital role in the transition to renewable energy. They offer an eco-friendly alternative to fossil fuels, enhancing energy self-sufficiency and reducing CO₂ emissions. SRF, derived from processed waste, enables the efficient use of materials that would otherwise end up in landfills. However, strict quality control is necessary to ensure safe and environmentally responsible combustion, particularly regarding harmful substances.

Both fuel types are crucial for sustainable energy management, supporting the circular economy and environmental protection.