



Technická univerzita vo Zvolene

ENERGETICKÉ VLASTNOSTI ŠTIEPKY Z DENDROMASY PORASTOV PLANTÁŽNICKY PESTOVANÝCH RÝCHLORASTÚCICH DREVÍN

Ladislav DZURENDA



**PROGRAM
CEZHRANIČNEJ
SPOLUPRÁCE**
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



**EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA**
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

**Rozvoj spolupráce medzi VEC a KET so zameraním na odborný rast doktorandov
a výskumných pracovníkov ITMS 22410320106**



Palivo

Vyhláška MŽP SR č. 356/2010 Z. z., Príloha č. 4, časť I. odst. 1.7 a časť V. odst. 1.1.1. písm. b, body 1 až 5 **definuje palivo** ako látky, ktoré sa smú spaľovať v zariadeniach na spaľovanie palív. Patria sem hnedé a čierne uhlie, lignit, rašelina, koks, brikety, nafta, vykurovacie oleje, zemný plyn naftový, biomasa, bioplyn.

Podľa STN EN 14961–1 **biomasou** sú označované **produkty pochádzajúce z poľnohospodárstva, alebo lesného hospodárstva** a možno ich využiť na výrobu energie.

Drevný odpad a rastlinný odpad sú tiež palivom, ak v dôsledku ošetrovania konzervačnými látkami, alebo ochrannými nátermi neobsahujú halogénované zlúčeniny, alebo ťažké kovy.

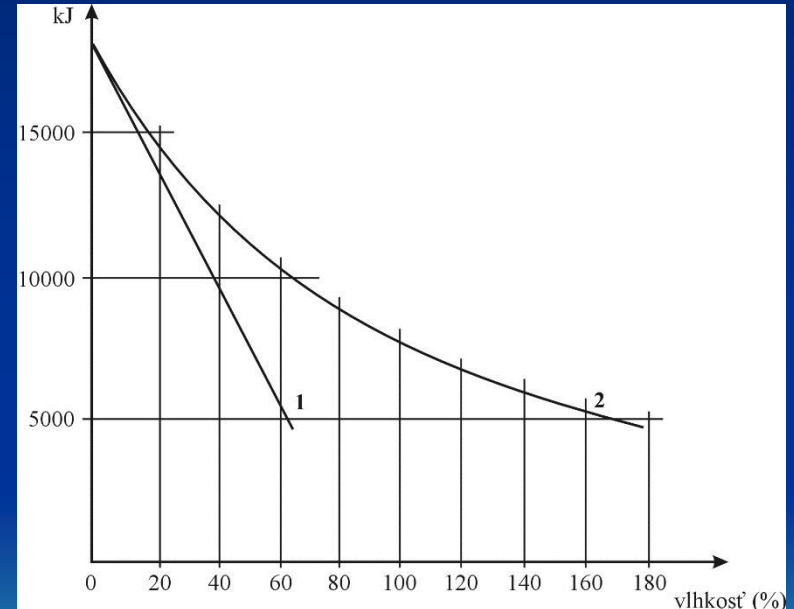


Biopalivo - dendromasa

Suchá dendromasa, ako palivo je charakterizovaná stredne vysokou výhrevnosťou $Q_n = 18,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$, vysokým podielom prchavej horľaviny $V_d = 85 \text{ [%]}$ a nízkym obsahom popola $A_d = 0,3 \text{ [%]}$. **EN 14 961**

drevo	Chemické zloženie sušiny dreva [%]					
	C	H	O	S	N	A
Ihlič. drevín	51,0	6,2	42,4	-	$\geq 0,1$	0,3
List. drevín	49,0	6,1	44,2	-	$\geq 0,2$	0,5

Obr. 1 Závislosť výhrevnosti dendromasy na vlhkosti
 1 - relatívna vlhkosť dendromasy
 2 - absolútna vlhkosť dendromasy





Plantáže rýchlorastúcich drevín (RRD)

V ostatných 30-tych rokoch v záujme zvýšenia produkcie dendromasy pre energetické účely sú zakladané **plantáže rýchlorastúcich drevín**, ktorých **minimálna produkcia sušiny dendromasy je 10 t.ha⁻¹.rok⁻¹**. (Varga–Godó 2002; Trenčiansky – Lieskovský – Oravec 2007; Malaťák – Vaculík 2008; Čížkova – Čížek – Bajajová 2010; Liebhart 2010; Otepka – Haban 2011)

Vhodnými drevinami pestovanými na plantážach za účelom produkcie dendromasy pre energetické účely **v Stredoeurópskom priestore sú dreviny:**

- vrba biela (*Salix alba* L.) a klony vrby košíkárskej (*Salix viminalis*).
- agát biely (*Robinia pseudoacacia* L.),
- topole (*Populus*),

Plantáže RRD podľa pestovania drevín a dĺžky cyklov zberu sa delia na:

- plantáže s cyklom zberu do 5 rokov (mini rotácia),
- plantáže s cyklom zberu 5 – 10 rokov (midi rotácia),
- plantáže s cyklom zberu 10 – 25 rokov (maxi rotácia).



Plantážnicky pestované porasty s cyklom zberu do 5 rokov (Simanov 1995)

1. Mini rotácia

Pri mini - rotácii je zber dendromasy realizovaný v cykloch kratších než 5 rokov, obvykle **2 ÷ 3 roky**. Pri takejto krátkej dobe vývoja sa prírastky pohybujú okolo 10 t sušiny z ha. Dosiahnuť takýto prírastok sušiny je možné len vo veľmi hustom poraste s počtom **16 000 až 20 000** stromčekov na hektár. Takéto intenzívne pestovanie prináša vysokú hektárovú produkciu vo forme veľmi tenkého dreva. Priemer kmeňov v prsnej výške pri ťažbe je **3 až 4 centimetre**. Využitie takéhoto materiálu je možné výhradne pre energetické účely.





Plantážnicky pestované porasty s cyklom zberu do 10 rokov (Simanov 1995)

2. Midi rotácia

Zber dendromasy sa realizuje v intervale 5 až 10 rokov, obvykle **5 ÷ 6 rokov**. Za tento čas stromčeky dosiahnu priemer **kmeňa 6 až 8 centimetrov**. Pri midi rotácii je preto možné počítat' s menšou hustotou porastu pre zabezpečenie rovnakého výnosu. Optimálna hustota je od **8 000 až 12 000 kusov na hektár**.





Plantážnicky pestovaných porastov s cyklom zberu do 25 rokov (*Simanov 1995*)

3. Maxi rotácia

Predpokladá zakladanie takých porastov, pri ktorých je plánovaný cyklus ťažby najskôr **po 10 až 25 rokoch**. Plantáže sú určené pre produkciu dendromasy na výrobu vlákniny. Produkcia bude zabezpečená vďaka väčším rozmerom už pri počte **1500 - 3000 stromov/ha**. Priemer kmeňov v čase ťažby je **20 - 25 cm**. Na energetické účely je určená konárovina a nehrúbie stromy.





Energetická štiepka z dendromasy porastov plantažnicky pestovaných RRD

Energetická štiepka z dendromasy porastov plantažnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín zbavená lístia (zelenej hmoty) je dvojzložkové biopalivo pozostávajúce z

- **juvenilného dreva,**
- **juvenilnej kôry.**





ENERGETICKÉ VLASTNOSTI JUVENILNÉHO DREVA A JUVENILNEJ KÔRY Z PORASTOV PLANTÁŽNICKY PESTOVANÝCH RÝCHLORASTÚCICH DREVÍN



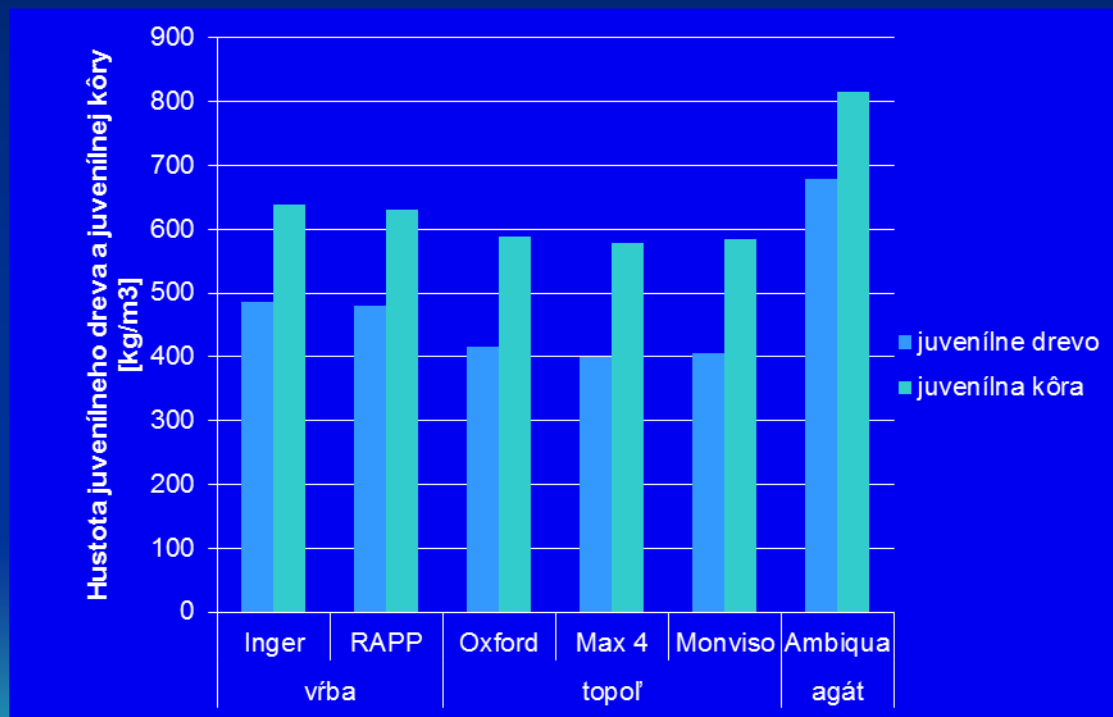
Hustota juvenilného dreva a juvenilnej kôry

Hustota juvenilného dreva a juvenilnej kôry bola stanovená podľa: IPP-7/2007 – Interný pracovný postup pre stanovenie hustoty drevnej hmoty v xylometri.

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad \left[\text{kg.m}^{-3} \right]$$

kde: m_0 – hmotnosť suchej vzorky [kg]
 V_0 – objem suchej vzorky [m^3]

Z prezentovaných výsledkov plynie, že juvenilná kôra v suchom stave má o 140 až 180 kg/m^3 vyššiu hustotu než juvenilné drevo.





Relatívna vlhkosť juvenilného dreva a juvenilnej kôry stanovená podľa EN 14774-2:2010

Relatívna vlhkosť biopaliva, juvenilnej kôry a juvenilného dreva podľa EN 14774-2:2010 Tuhé biopalivá - stanovenie obsahu vlhkosti (Metóda sušením v sušiarni) sa vykonáva na reprezentatívnych vzorkách $m_w \approx 300 \text{ g}$, pri teplote sušenia $t = 103 \pm 2 \text{ C}$. Výpočet relatívnej vlhkosti biopaliva popisuje rovnica:

$$W_r = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde: m_w – vlhká vzorka biopaliva [g]

m_0 – vysušená vzorka biopaliva [g].

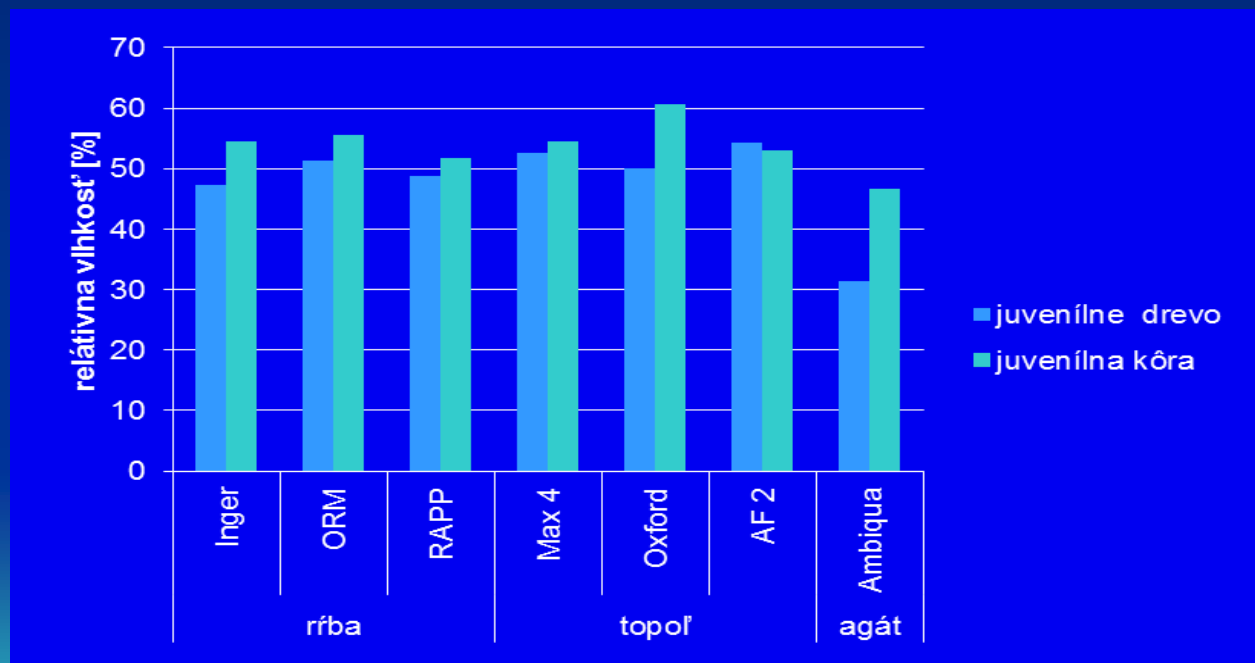




Vlhkosť juvenilnej kôry a juvenilného dreva dendromasy z porastov plantážnicky pestovaných porastov vrb, topolov a agátov

Relatívna vlhkosť juvenilnej kôry a juvenilného dreva v energetickej štiepke dendromasy plantážnicky pestovaných porastov vrb, topolov a agátov v čase zberu, počas vegetačného klúdu (zimné obdobie).

Z výsledkov plynie, že juvenilná kôra, až na klon topoľa AF 2, má o 2 až 13 % vyššiu vlhkosť než juvenilné drevo.





Chemické zloženie horľaviny juvenil. dreva a juvenil. kôry - *Salix viminalis*

Prvkový rozbor horľaviny: uhlíka C^{daf} [%], vodíka H^{daf} [%] a dusíka N^{daf} [%] juvenilného dreva a juvenilnej kôry bol stanovený na analyzátore NCS-FLASH EA 1112. Obsah kyslíka v horľavine bol stanovený výpočtom, pri predpoklade nulového zastúpenia síry v dendromase podľa vzťahu: $O^{daf} = 100 - C^{daf} - H^{daf} - N^{daf}$ [%]

Klony dreviny <i>Salix viminalis</i>		Chemické zloženie horľaviny [%]			
		C^{daf}	H^{daf}	O^{daf}	N^{daf}
RAPP	drevo	49,09	6,43	44,16	0,32
	kôra	50,19	6,03	42,51	1,27
Inger	drevo	48,85	6,32	44,45	0,38
	kôra	49,41	6,06	42,75	1,78
ORM	drevo	48,22	6,24	45,09	0,32
	kôra	49,39	6,12	42,73	1,76
Tordis	drevo	49,44	6,26	43,95	0,35
	kôra	49,80	6,22	42,23	1,75





Chemické zloženie horľaviny juvenilného dreva a juvenilnej kôry - Populus

Prvkový rozbor horľaviny: uhlíka C^{daf} [%], vodíka H^{daf} [%] a dusíka N^{daf} [%] juvenilného dreva a juvenilnej kôry bol stanovený na analyzátore NCS-FLASH EA 1112. Obsah kyslíka v horľavine bol stanovený výpočtom, pri predpoklade nulového zastúpenia síry v dendromase podľa vzťahu: $O^{daf} = 100 - C^{daf} - H^{daf} - N^{daf}$ [%]

Klony dreviny Populus		Chemické zloženie horľaviny [%]			
		C^{daf}	H^{daf}	O^{daf}	N^{daf}
Max 5	drevo	50,30	6,01	43,36	0,33
	kôra	49,90	5,91	43,19	1,00
Oxford	drevo	49,60	6,04	44,09	0,27
	kôra	49,50	5,56	44,26	0,68
AF 2	drevo	50,03	5,85	43,52	0,60
	kôra	50,45	5,81	42,64	1,10
Monviso	drevo	51,46	5,87	42,33	0,34
	kôra	50,82	5,64	42,81	0,73





Chemické zloženie horľaviny juvenilného dreva a juvenilnej kôry - Agáta

Prvkový rozbor horľaviny: uhlíka C^{daf} [%], vodíka H^{daf} [%] a dusíka N^{daf} [%] juvenilného dreva a juvenilnej kôry bol stanovený na analyzátoře NCS-FLASH EA 1112. Obsah kyslíka v horľavine bol stanovený výpočtom, pri predpoklade nulového zastúpenia síry v dendromase podľa vzťahu: $O^{daf} = 100 - C^{daf} - H^{daf} - N^{daf}$ [%]

Klony dreviny Robinia pseudoacacia		Chemické zloženie horľaviny [%]			
		C^{daf}	H^{daf}	O^{daf}	N^{daf}
Ambigua	drevo	50,27	54,86	43,32	0,55
	kôra	50,08	6,08	40,44	3,40
Nyirsegi	drevo	50,13	5,88	43,35	0,64
	kôra	49,15	5,71	41,47	3,67
Rozazsin	drevo	49,65	5,82	43,92	0,61
	kôra	49,50	5,92	40,86	3,72
Matyasi	drevo	50,48	5,92	42,96	0,64
	kôra	48,83	5,87	41,29	4,01





Podiel palivového dusíka v horľavine juvenilného dreva a juvenilna kôra

Horľavina juvenilnej kôry v porovnaní s horľavinou juvenilného dreva sa výrazne líši v zastúpení endotermickej zložky – dusíka, majúci vplyv na produkciu tzv palivových emisii oxidov dusíka NO_x .





Spalné teplo horľaviny juvenilného dreva a juvenilnej kôry

Spalné teplo horľaviny juvenilného dreva juvenilnej kôry je stanovené technickým výpočtom na základe prvkového zloženia biopaliva prostredníctvom rovnice M. I. Mendelejevovej.

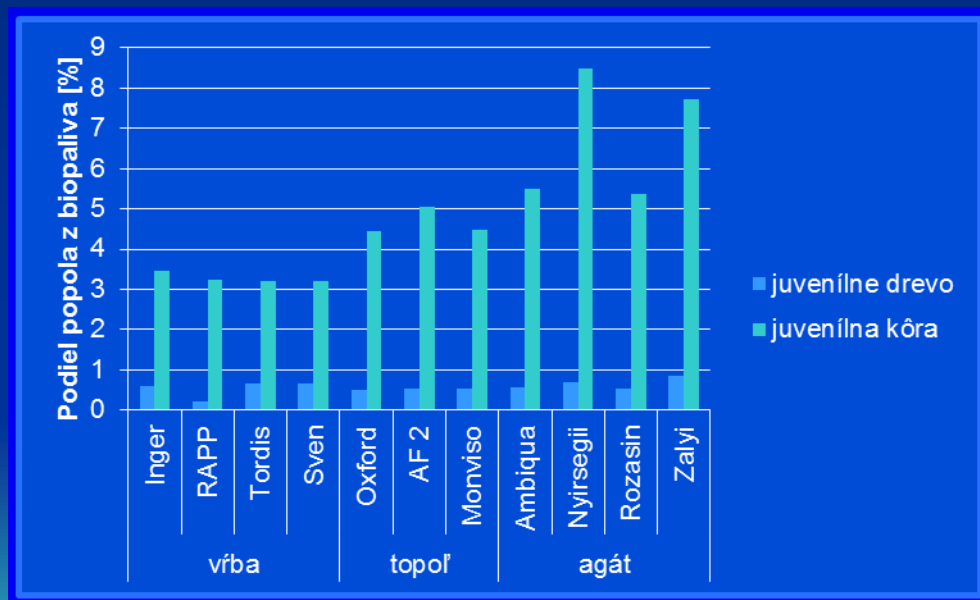
$$Q_s^{\text{daf}} = [339.C^{\text{daf}} + 1260.H^{\text{daf}} - 109.(O^{\text{daf}} + N^{\text{daf}})] \quad [\text{kJ.kg}^{-1}]$$





Stanovenie podielu popola z juvenilného dreva a juvenilnej kôry

Podiel popola v juvenilnom dreve a juvenilnej kôre bol stanovený podľa normy **STN ISO 1171 Tuhé palivá - Stanovenie popola**. Pracovný postup pozostáva z ohrevu suchej vzorky biopaliva v Muflovej peci pri teplote 500 °C po dobu 30 min., a následnom ohreve na teplotu 815 ± 10 °C po dobu 60 minút.

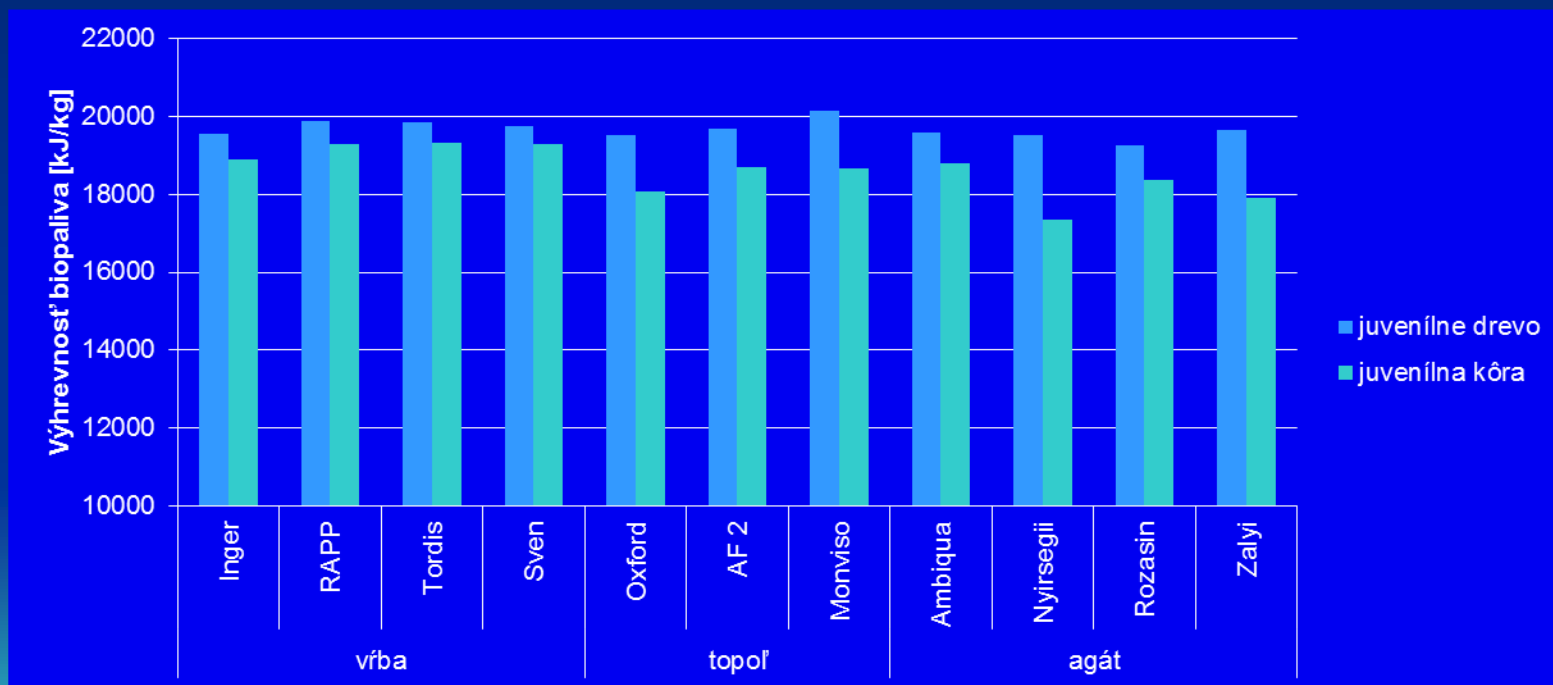




Výhrevnosť juvenilného dreva a juvenilnej kôry

Výhrevnosť suchého juvenilného dreva a juvenilnej kôry stanovená prostredníctvom rovnice M. I. Mendelejeva:

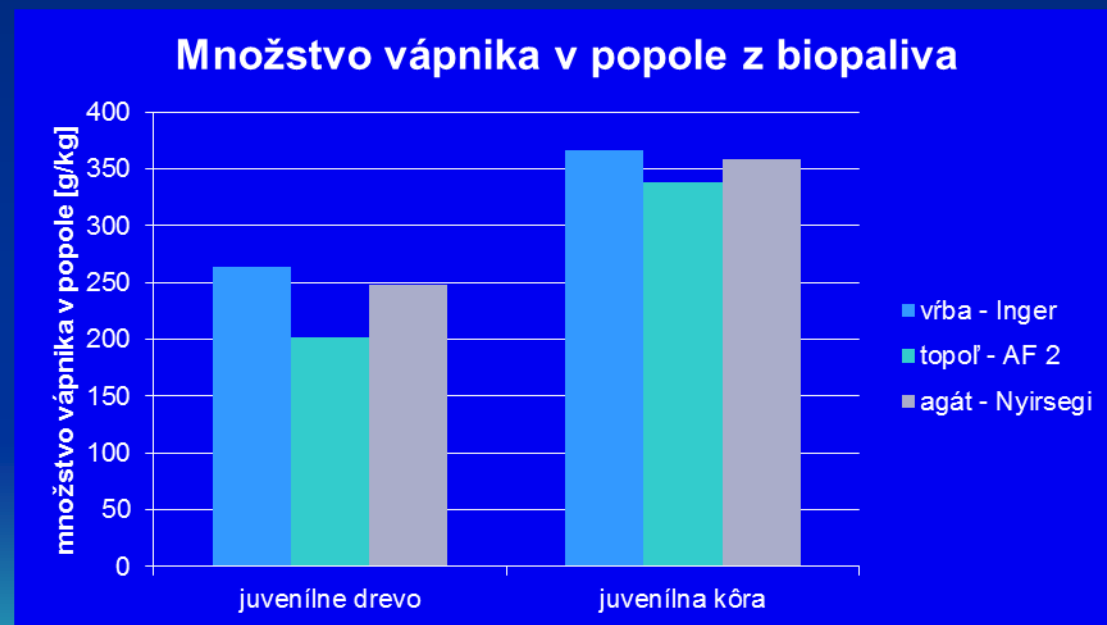
$$Q_n^d = \left[339 \cdot C^{daf} + 1029,8 \cdot H^{daf} - 108,8 \cdot (O^{daf} + N^{daf}) \right] \left[\frac{100 - A^d}{100} \right] \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$





Analýza popola – zastúpenie vápnika v popole z juvenilného dreva a juvenilnej kôry rýchlorastúcich drevín

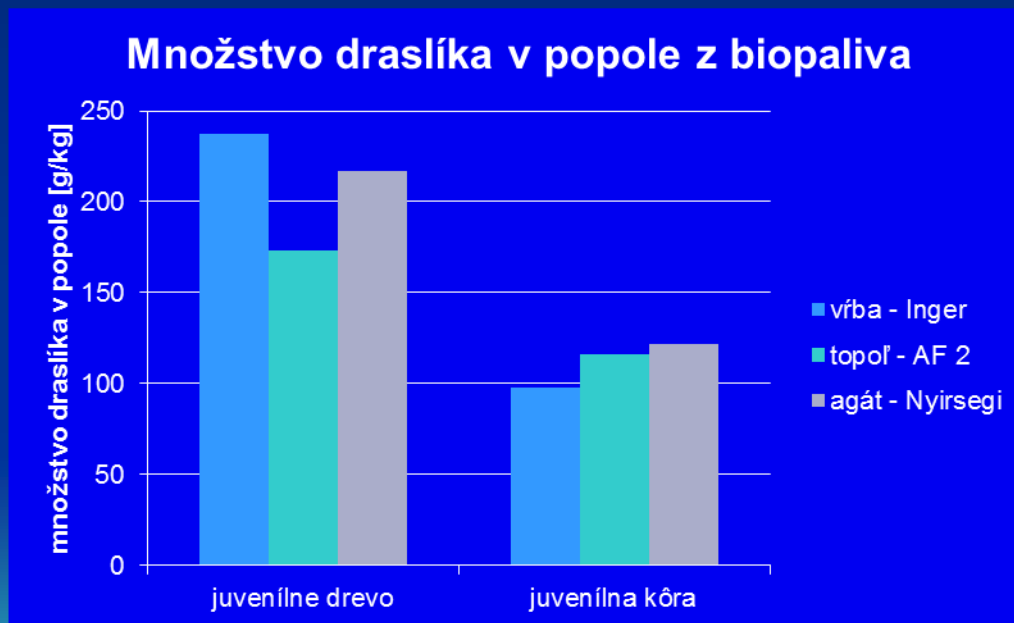
Zastúpenie vápnika (Ca) v popole z biopaliva bolo vykonané metódou ICP-AES – atómová emisná spektrometria s indukčne viazaným plazmatom v laboratóriách NLC Zvolen





Analýza popola – zastúpenie draslíka v popole z juvenilného dreva a juvenilnej kôry rýchlorastúcich drevín

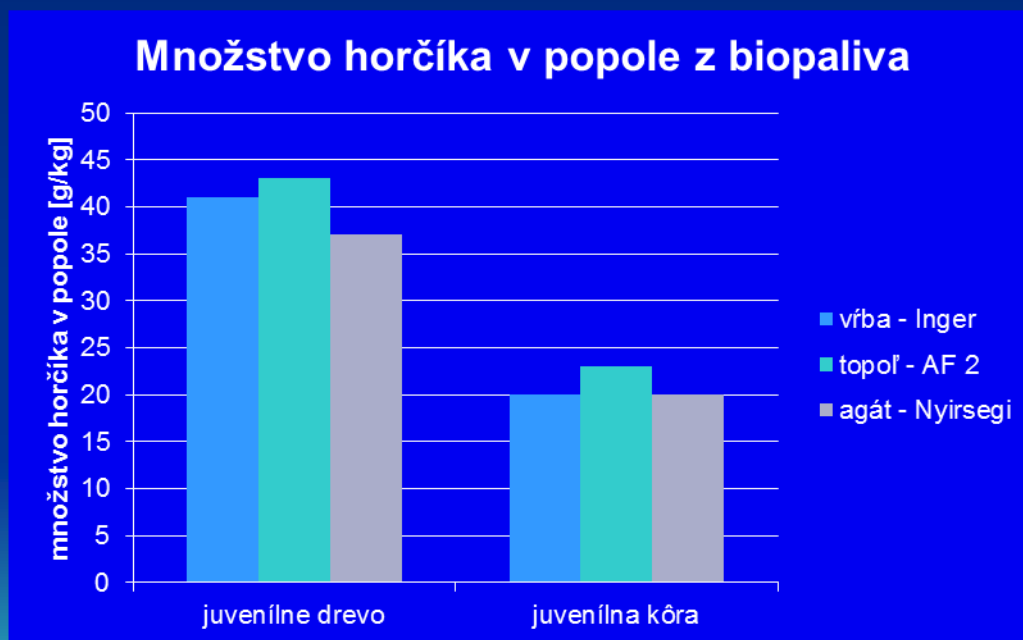
Zastúpenie draslíka (K) v popole z biopaliva bolo vykonané metódou ICP-AES – atómová emisná spektrometria s indukčne viazaným plazmatom v laboratóriách NLC Zvolen





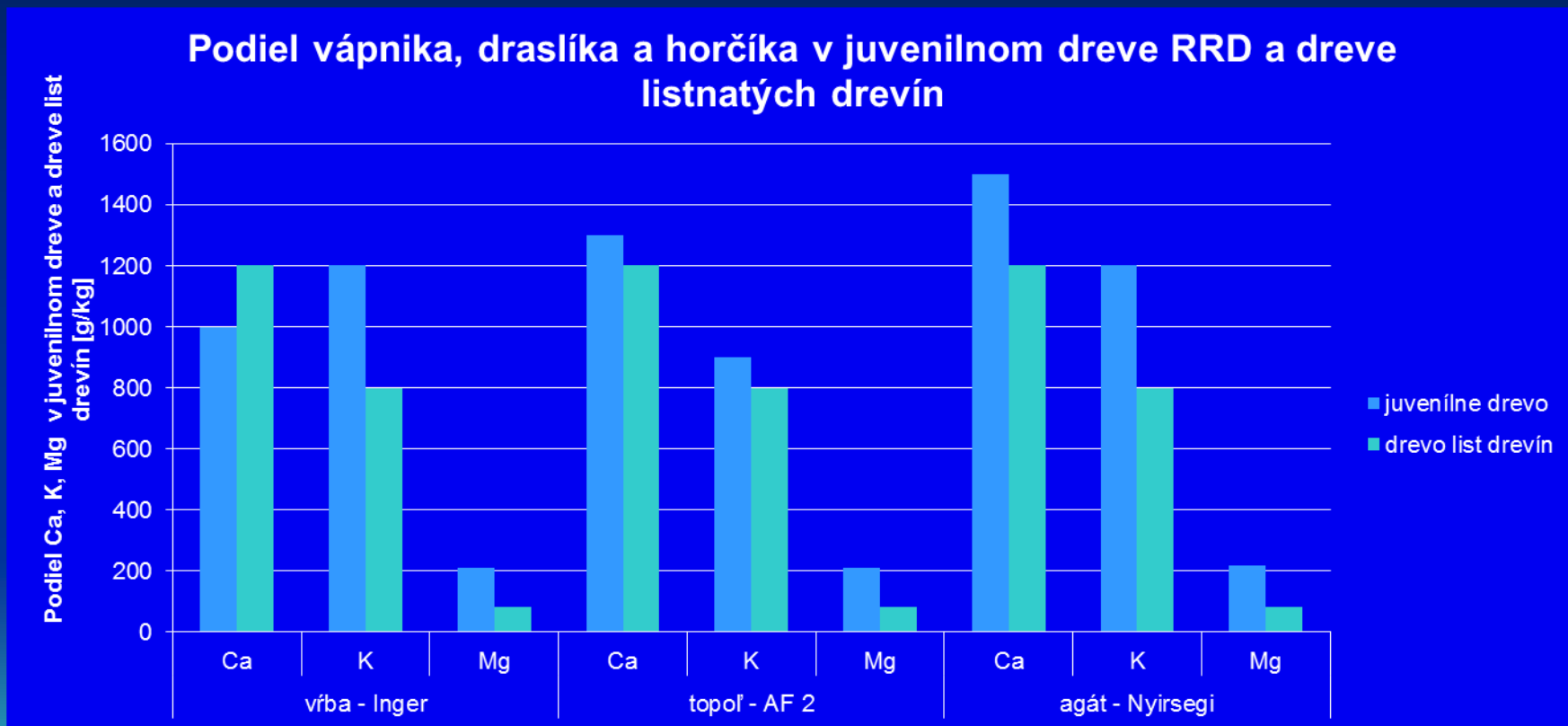
Analýza popola – zastúpenie horčíka v popole z juvenilného dreva a juvenilnej kôry rýchlorastúcich drevín

Zastúpenie horčíka (Mg) v popole z biopaliva bolo vykonané metódou ICP-AES – atómová emisná spektrometria s indukčne viazaným plazmatom v laboratóriách NLC Zvolen



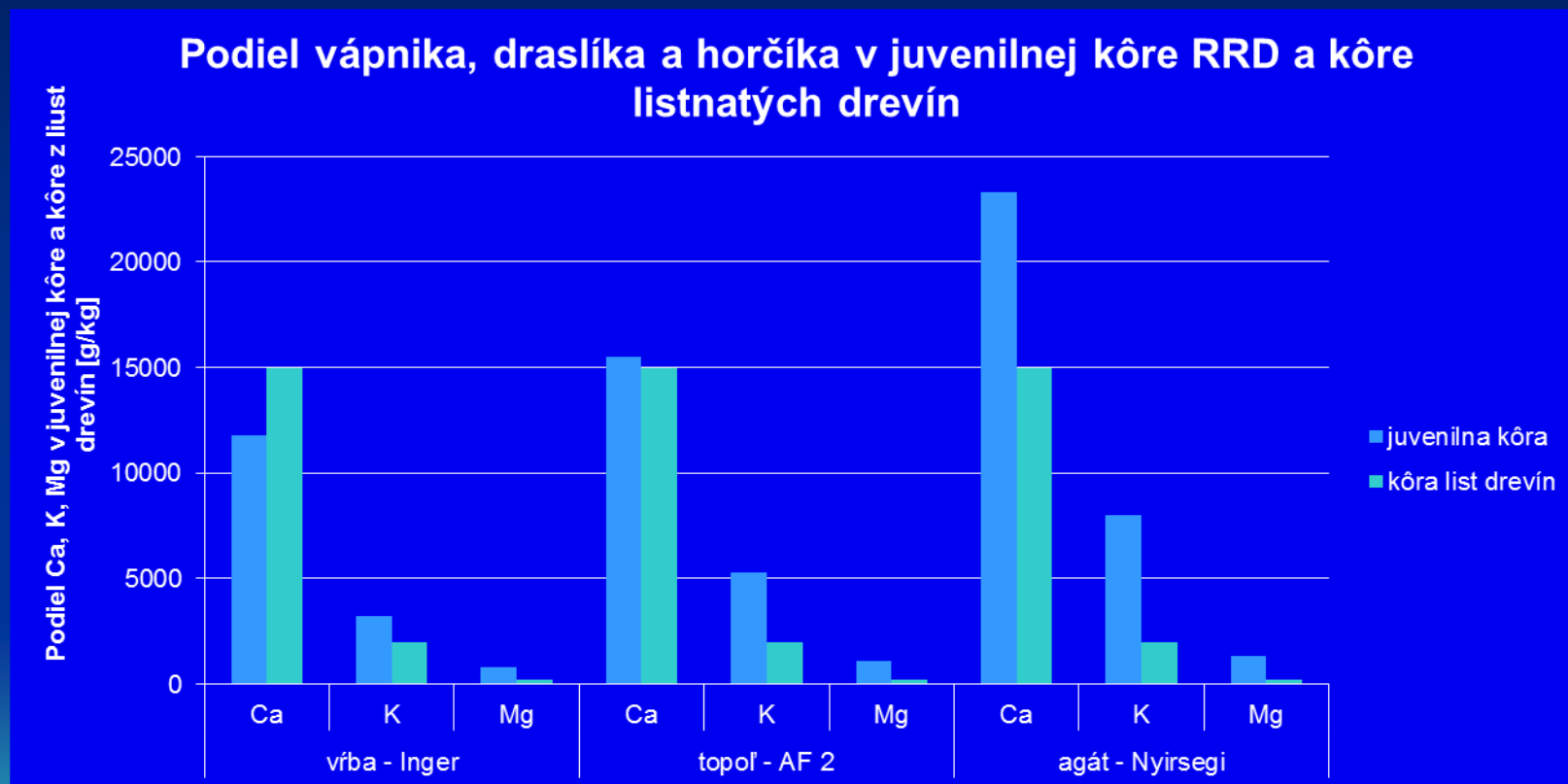


Zastúpenie vápnika (Ca), draslíka (K) a horčíka (Mg) v juvenilnom dreve rýchlorastúcich drevín a dreve listnatých drevín podľa EN 14961:2010 Tuhé biopalivá





Zastúpenie vápnika (Ca), draslíka (K) a horčíka (Mg) v juvenilnej kôre rýchlo-rastúcich drevín a kôre listnatých drevín podľa EN 14961:2010 Tuhé biopalivá





Bilancia rozdielov energetické vlastnosti biopalív: juvenilného dreva a juvenilnej kôry z porastov plantážnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín

Na základe vykonaných analýz energetických vlastností juvenilného dreva a juvenilnej kôry z porastov plantážnicky pestovaných vrb, topoľov a agátov v našich klimatických podmienkach formou mini, midy a maxi rotácie (s cyklom zberu 3 až 5 rokov, 6 až 12 rokov a 20 až 25 rokov) je možné konštatovať, že juvenilná kôra v porovnaní s juvenilným drevom sa líši :

- vyššou hustotou o 150 až 320 kg/m³
- vyššou relatívnou vlhkosťou v priemere o 8 %
- 2 až 7 násobne vyšším obsahom dusíka,
- 7 až 11 násobne vyšším obsahom popola,
- nižšou výhrevnosťou v suchom stave o 500 až 1500kJ/kg
- 1,4 násobne vyšším zastúpením vápnika (Ca) v popole,
- 50 % zastúpením draslíka (K) a horčíka (Mg) v popole .



ENERGETICKÉ VLASTNOSTI BIOPALIVA ENERGETICKEJ ŠTIEPKY Z DENDROMASY PORASTOV PLANTÁŽNICKY PESTOVANÝCH RÝCHLORASTÚCICH DREVÍN



Podiel kôry v štiepke z dendromsy porastov pestovaných na plantážach

Podiel kôry v energetickej štiepke z deneomasy porastov rýchlorastúcich drevín je závislý na drevine a veku porastu. V zmysle STN 48 0058 „Sortimenty dreva – Listnaté štiepky a piliny“ prípustný podiel kôry v energetickej štiepke je $X_K \leq 30 \%$.

Stanovuje sa laboratórnym rozborom reprezentatívnych vzoriek biopaliva o hmotnosti $m_{\text{s}} \approx 200 \text{ g}$. Podiel kôry kvantifikuje rovnica:

$$X_K = \frac{m_K}{m_s} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde: m_K – hmotnosť kôry vo vzorke štiepky [g],
 m_s – hmotnosť vzorky štiepky [g].

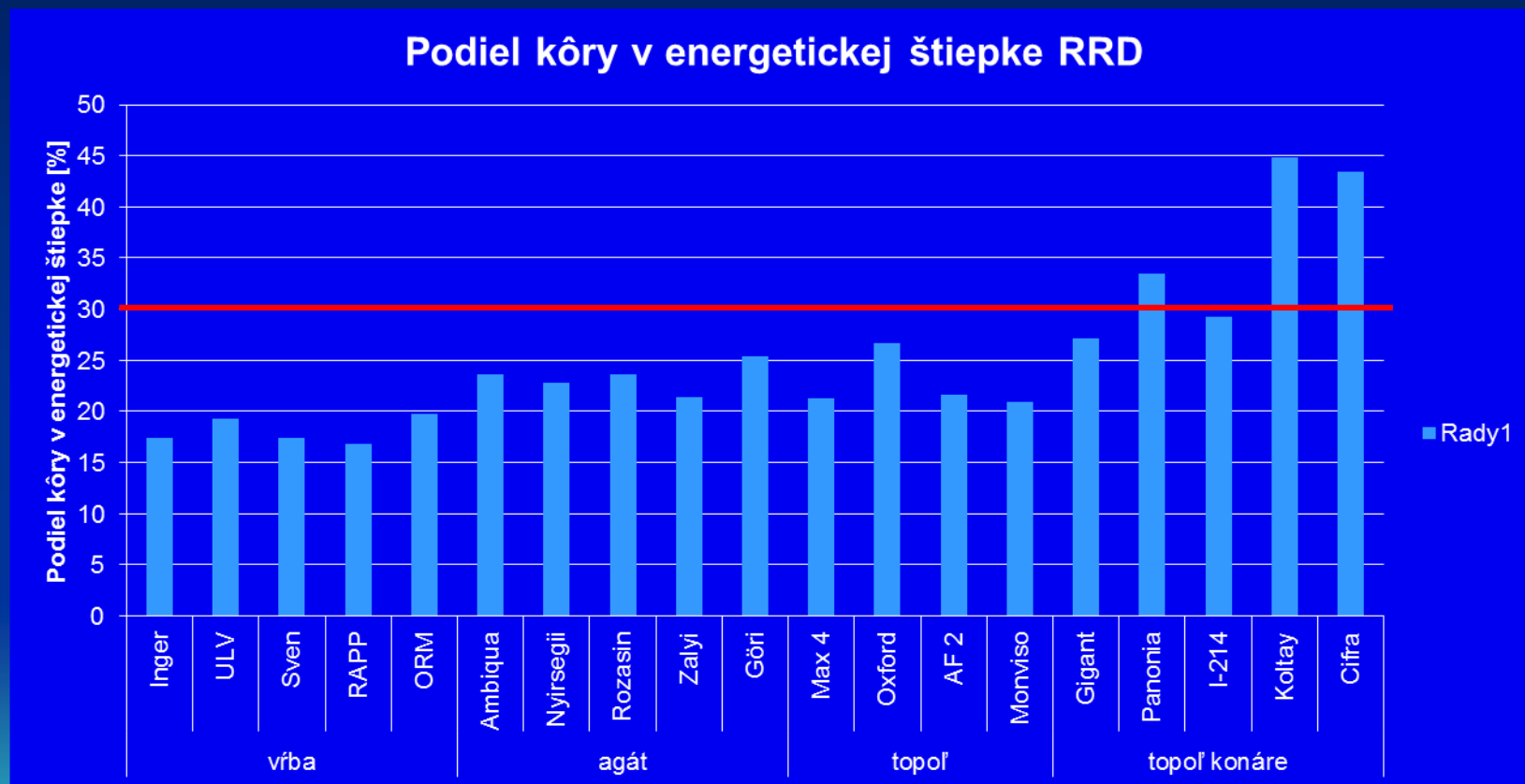


Príkladom stanovenia podielu kôry podľa IMP-8-2010, Interný postup pre stanovenie podielu kôry v energetickej štiepke **v energetickej štiepke z plantážnicky pestovaného agáta – Robinia pseudoacacia klon: Rozaszin sú údaje v tabuľke:**

Vzorka	Vzorka 1	Vzorka 2	Vzorka 3	Priemer
Podiel kôry v štiepke [%]	24,56	22,77	23,70	23,68 ± 2,38



Podiel kôry v energetickej štiepke z dendromsy plantážnicky pestovaných porastov vrb, topolov a agátov na území Slovenska





Hustota energetickej štiepky z porastov plantážnicky pestovaných vrb, topolov a agátov

Hustota dendromasy energetickej štiepky v suchom stave bola stanovená podľa: IPP-7/2007 – Interný pracovný postup pre stanovenie hustoty drevnej hmoty v xylometri.

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad \left[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \right]$$

kde: m_0 – hmotnosť suchej vzorky [kg]
 V_0 – objem suchej vzorky [m^3]





Sypná hustota energetickej štiepky z porastov plantážnicky pestovaných vrb, topolov a agátov v čase zberu, $Wr = 38 - 55 \%$

Sypná hmotnosť (strasná hustota) energetickej štiepky vrb agátov a topoľov z plantážnicky pestovaných porastov s vlhkosťou v čase zberu stanovená podľa EN 15103:2010.

$$BD_{ar} = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad [kg \cdot m^{-3}]$$

kde: m_2 – hmotnosť nádoby naplnenou štiepkou po utrasení [kg]
 m_1 – hmotnosť nádoby [kg]
 V - objem nádoby [m^3]





Chemické zloženie horľaviny energetickej štiepky

Chemické zloženie horľaviny energetickej štiepky pozostávajúcej z horľaviny juvenilného dreva a horľaviny juvenilnej kôry bol stanovený výpočtom na základe podielu kôry a dreva v štiepke a nameranej hodnoty zastúpenia daného prvku horľaviny v dreve a kôre podľa vzťahov:

$$\begin{aligned}C_{\check{S}}^{daf} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot C_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot C_K^{daf} \\H_{\check{S}}^{daf} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot H_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot H_K^{daf} \\N_{\check{S}}^{daf} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot N_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot N_K^{daf} \\O_{\check{S}}^{daf} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot O_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot O_K^{daf} \\A_{\check{S}}^d &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot A_D^d + \frac{X_K}{100} \cdot A_K^d\end{aligned}$$

$$C_{\check{S}}^{daf}, H_{\check{S}}^{daf}, N_{\check{S}}^{daf}, O_{\check{S}}^{daf}$$

obsah uhlíka, vodíka, dusíka, kyslíka v horľavine štiepky [%],

$$C_D^{daf}, H_D^{daf}, N_D^{daf}, O_D^{daf}$$

obsah uhlíka, vodíka, dusíka, kyslíka v horľavine dreva [%],

$$C_K^{daf}, H_K^{daf}, N_K^{daf}, O_K^{daf}$$

obsah uhlíka, vodíka, dusíka, kyslíka v horľavine kôry [%],

$A_{\check{S}}$, A_D , A_K – podiel popola v štiepke, dreve a kôre [%].

X_K – zastúpenie kôry v štiepke [%].



Chemické zloženie horľaviny a podiel popola v energetickej štiepke z dendromasy z plantážnicky pestovanej dreveny *Salix viminalis*

Klony dreveny <i>Salix viminalis</i>	Zastúpenie dreva a kôry v štiepke [%]		Chemické zloženie horľaviny [%]				Podiel popola [%]
			C ^{daf}	H ^{daf}	O ^{daf}	N ^{daf}	A ^d
Salix viminalis klon RAPP	Drevo	83,21	49,09	6,43	43,55	0,32	0,21
	Kôra	16,79	50,19	6,30	42,20	1,27	3,24
	Štiepka	100	49,27	6,41	43,32	0,48	0,72
Salix viminalis klon ULV	Drevo	80,65	50,11	6,68	42,68	0,53	0,24
	Kôra	19,35	50,41	6,30	41,58	1,70	2,74
	Štiepka	100	50,16	6,61	42,46	0,75	0,72
Salix viminalis klon ORM	Drevo	80,26	48,22	6,24	45,09	0,32	0,61
	Kôra	19,74	49,39	6,12	42,73	1,76	2,93
	Štiepka	100	48,45	6,21	44,62	0,60	1,06



Chemické zloženie horľaviny a podiel popola v energetickej štiepke z dendromasy z plantážnicky pestovanej dreveny Populus

Drevina	Zastúpenie dreva a kôry v štiepke [%]		Chemické zloženie horľaviny [%]				Podiel popola [%]
			C ^{daf}	H ^{daf}	O ^{daf}	N ^{daf}	A ^d
Populus klon MAX 5	Drevo	78,67	50,30	6,01	43,36	0,33	0,30
	Kôra	21,33	49,90	5,91	43,19	1,00	3,20
	Štiepka	100	50,21	5,99	43,32	0,47	0,92
Populus klon OXFORD	Drevo	73,33	49,60	6,04	44,09	0,27	0,49
	Kôra	26,67	49,50	5,56	44,26	0,68	4,45
	Štiepka	100	49,57	5,91	44,14	0,38	1,54
Populus klon AF 2	Drevo	73,33	49,60	6,04	44,09	0,27	0,52
	Kôra	26,67	49,50	5,56	44,26	0,68	5,04
	Štiepka	100	49,57	5,91	44,14	0,38	1,49



Chemické zloženie horľaviny a podiel popola v energetickej štiepke z konárov plantážnicky pestovanej dreviny *Populus* (vek porastu 20 – 25 rokov)

Drevina	Zastúpenie dreva a kôry v štiepke [%]		Chemické zloženie horľaviny [%]				Podiel popola [%]
			C ^{daf}	H ^{daf}	O ^{daf}	N ^{daf}	A ^d
Populus klon Panonia	Drevo	66,58	50,49	5,86	43,29	0,36	0,37
	Kôra	33,42	47,71	5,65	45,99	0,65	5,73
	Štiepka	100	49,56	5,79	44,19	0,46	2,16
Populus klon Cifra	Drevo	56,56	49,49	5,96	44,53	0,38	0,48
	Kôra	43,44	48,71	5,64	45,97	0,68	5,51
	Štiepka	100	49,15	5,82	45,14	0,51	2,64
Populus klon Koltay	Drevo	55,2	48,91	5,70	45,11	0,28	0,52
	Kôra	44,8	48,55	5,62	45,10	0,73	6,86
	Štiepka	100	48,75	5,66	45,11	0,48	3,36



Priemerné chemické zloženie horľaviny, podiel popola a výhrevnosť energetickej štiepky z dendromasy plantážnicky pestovaných vrúb, agátov a topoľov

Drevina	Chemické zloženie horľaviny [%]				Podiel popola [%]	Výhrevnosť ener. štiepky v suchom stave [kJ/kg]
	C ^{daf}	H ^{daf}	O ^{daf}	N ^{daf}	A ^d	Q _n ^d
Štiepka z vrúb	49,28	6,29	43,85	0,58	0,94	18 169
Štiepka z agátov	49,92	5,94	42,10	1,29	1,97	17 950
Štiepka z topoľov	49,83	5,93	43,88	0,43	1,33	17 929
Štiepka z konárov . topoľov	49,18	5,78	44,55	0,49	1,32	17 482
Drevo listnatých drevín	50,0±2,0	6,2±0,3	43,5±2,0	0,3±0,2	0,3±0,2	18 500



Odlišnosti chemického zloženia energetickej štiepky z dendromasy plantážnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín od palivového dreva listnatých drevín

Biopaliavo – energetická štiepka z dendromasy porastov plantážnický pestovaných vrb, topoľov a agátov v našich klimatických podmienkach s cyklom zberu 3 až 5 rokov, 6 až 12 rokov a 20 až 25 rokov sa v porovnaní s palivovým drevom listnatých drevín (EN 14961:2010 Tuhé biopalivá) sa z hľadiska energo-environmentálnych charakteristík líši:

- 2 až 6 násobne zvýšeným obsahom dusíka v $N^{daf} = 0,43 - 1,29 \%$,
- 3,1 až 6,6 násobne vyšším obsahom popola $A^d = 0,94 - 1,97 \%$,
- nižšou výhrevnosťou o 330 – 1020 kJ/kg.



Vplyv palivového dusíka v energetickej štiepke z dendromasy plantážnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín energeticke ekologické vlastnosti.

Prítomnosť dusíka v biopalive má negatívny vplyv tak na základné energetické vlastnosti: spálneho tepla a výhrevnosti biopaliva, ako i produkciu emisií – oxidov dusíka do atmosféry.

Zvýšený obsah dusíka v horľavine biopaliva z plantážnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín **znižuje výhrevnosť horľaviny biopaliva** podľa Mendelejevovej rovnice **o 25,0 kJ.kg⁻¹ až 118,6 kJ.kg⁻¹**

$$Q_n^{\text{daf}} = \left[339.C^{\text{daf}} + 1029,8.H^{\text{daf}} - 108,8.(O^{\text{daf}} + N^{\text{daf}}) \right] \left[\text{kJ.kg}^{-1} \right]$$

Z emisno-technologických meraní spaľovania energetickej štiepky z dendromasy plantážnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín v kúreniskách kotlov malých a stredných zdrojov tepla plyní že koncentráciu emisií – oxidov dusíka v spalinách sú na úrovni: **$C_{\text{NO}_x} = 364 - 566 \text{ mg.m}_n^{-3}$** . Uvedené hodnoty sa nachádzajú sa v hornej polovici intervalu emisného limitu platného na území Slovenska.



Emisný faktor NO_x pre vzduchosuchú energetickú štiepku RRD

Hodnoty emisného faktora produkcie oxidov dusíka NO_x z energetických zdrojov spaľujúcich energetickú štiepku z dendromasy plantážnicky pestovaných porastov rýchlorastúcich drevín popisuje rovnica:

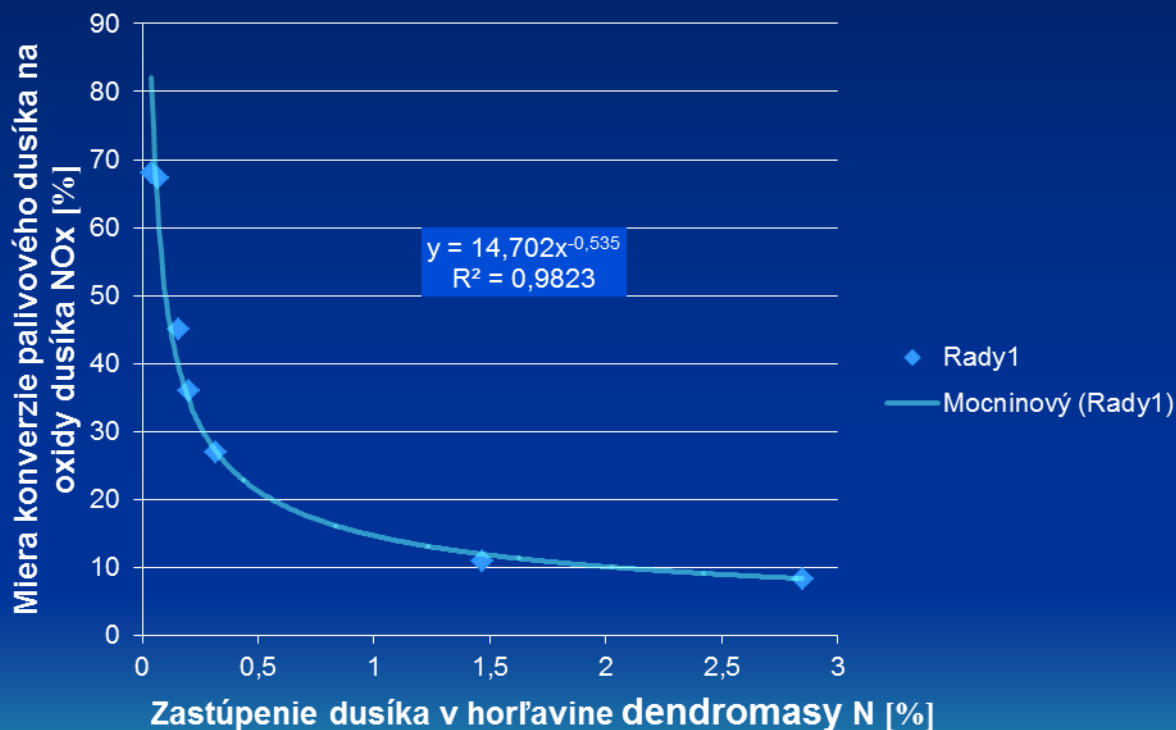
$$EF_{NO_x} = X_{NO_x} \cdot 3,2857 \cdot N^{daf} \cdot V_{nsp11\%} \cdot ((100 - W^r) / 100) \cdot 10^3 \quad [kg \cdot t^{-1}].$$

kde: X_{NO_x} koeficient konverzie palivového dusíka na oxidy dusíka [-], N^{daf} obsah palivového dusíka v horľavine [kg.kg⁻¹], C^{daf} obsah uhlíka v horľavine [kg.kg⁻¹], $V_{nsp11\%}$ objem suchých spalín zo spálenia 1 kg suchého biopaliva [m³.kg⁻¹], W^r relatívna vlhkosť biopaliva [kg.kg⁻¹].

Drevina	Podiel palivového dusíka N^{daf}	Koeficient konverzie X_{NO_x}	Emisný faktor EF_{NO_x}
vŕba	0,58 [%]	0,21 [-]	2,9 [kg.t ⁻¹]
topoľ	0,49 [%]	0,27 [-]	2,7 [kg.t ⁻¹]
agát	1,26 [%]	0,15 [-]	4,1 [kg.t ⁻¹]



Koeficient konverzie palivového dusíka na oxidy dusíka NO_x v procesoch spaľovania dendromasy v závislosti na obsahu palivového dusíka v dendromase.





Analýza popola – zastúpenie vápnika (Ca), draslíka (K) a horčíka (Mg) v popole v energetickej štiepke z dendromasy porastov rýchlorastúcich drevín

Zastúpenie vápnika (Ca), draslíka (K) a horčíka (Mg) v popole z energetickej štiepky z dendromasy porastov plantážnicky pestovaných vrb, topoľov a agátov je stanovené výpočtom na základe podielu kôry a dreva v štiepke a nameranej hodnoty zastúpenia daného prvku v popole z juvenilného dreva a juvenilnej kôry podľa vzťahov:

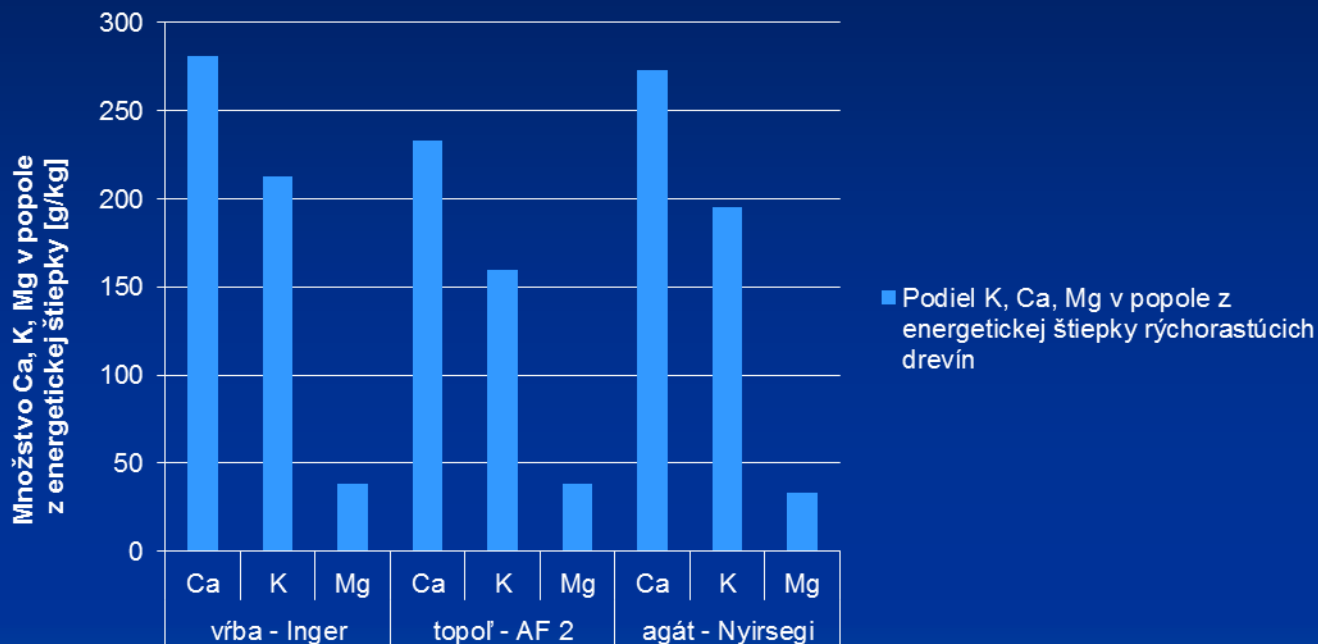
$$Ca_{\check{S}} = \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot Ca_D + \frac{X_K}{100} \cdot Ca_K$$

$$K_{\check{S}} = \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot K_D + \frac{X_K}{100} \cdot K_K$$

$$Mg_{\check{S}} = \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot Mg_D + \frac{X_K}{100} \cdot Mg_K$$



Zastúpenie vápnika (Ca), draslíka (K) a horčíka (Mg) v popole v energetickej štiepke z dendromasy porastov rýchlorastúcich drevín

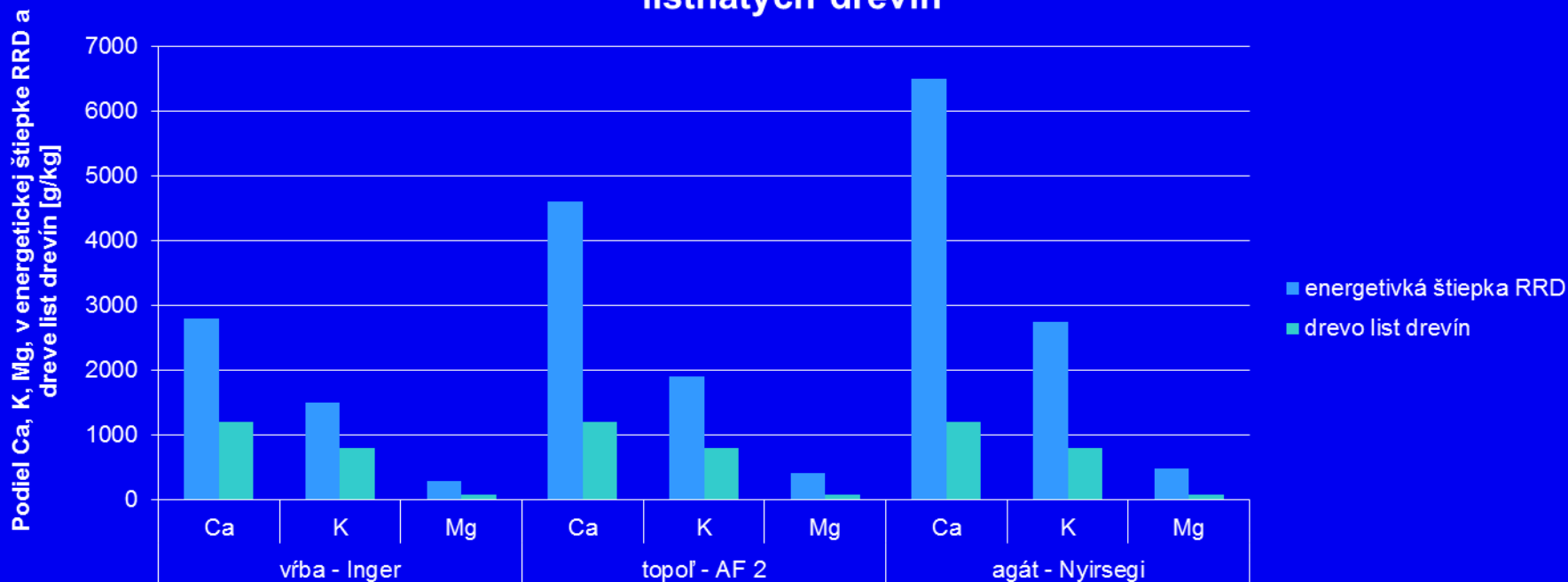


Zastúpenie Ca, K a Mg v popole v energetickej štiepke z dendromasy porastov rýchlorastúcich drevín je v pomere: **Ca : K : Mg = 7 : 4,5 : 1**



Zastúpenie vápnika (Ca), draslíka (K) a horčíka (Mg) v energetickej štiepke rýchlorastúcich drevín a dreve listnatých drevín podľa EN 14961:2010 Tuhé biopalivá

Podiel vápnika, draslíka a horčíka v energetickej štiepke RRD a dreve listnatých drevín





VPLYV PRIRODZENEJ VLHKOSTI DENROMASY Z PORASTOV PLANTÁŽNICKY PESTOVANÝCH RÝCHLORASTÚCICH DREVÍN NA ENERGETICKÉ VLASTNOSTI BIOPALIVA



Technická univerzita vo Zvolene

Jednostupňový zber dendromasy z porastov plantážnicky pestovaných porastov rýchlorastúcich drevín



**Rozvoj spolupráce medzi VEC a KET so zameraním na odborný rast doktorandov
a výskumných pracovníkov ITMS 22410320106**

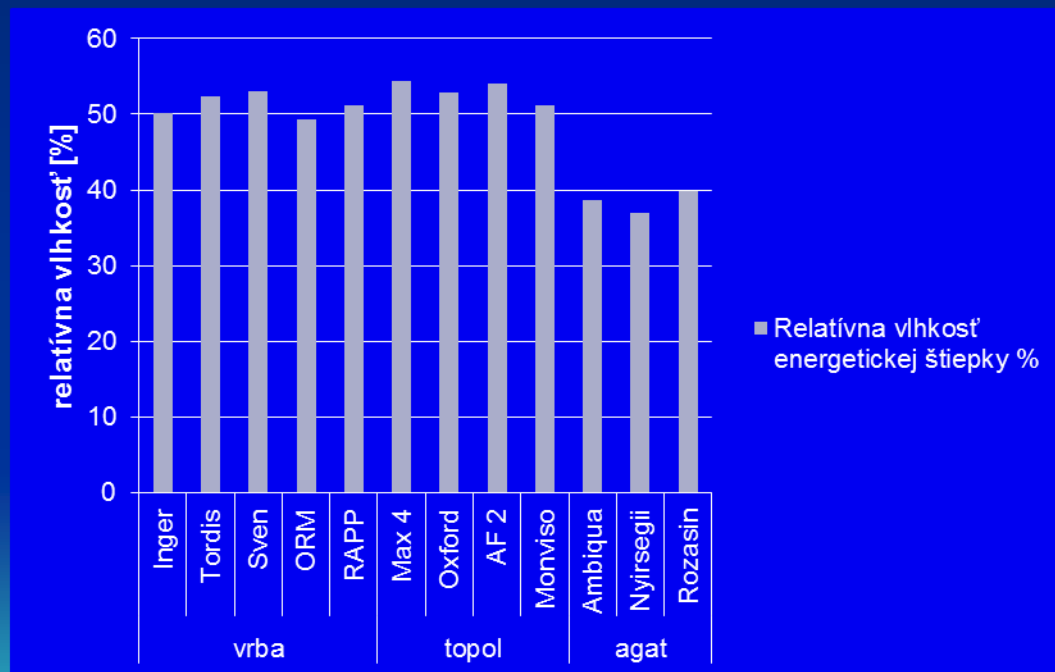


Vlhkosť energetickej štiepky z dendromasy porastov plantážnicky pestovaných porastov vrb, topolov a agátov

Relatívna vlhkosť energetickej štiepky dendromasy plantážnicky pestovaných porastov vrb, topolov a agátov, stanovená podľa **EN 14 774-2:2010 Tuhé biopalivá**, v čase vegetačného kl'udu v mesiacoch: november až február.

$$W_r = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde: m_w – vlhká vzorka biopaliva [g]
 m_0 – vysušená vzorka biopaliva [g]





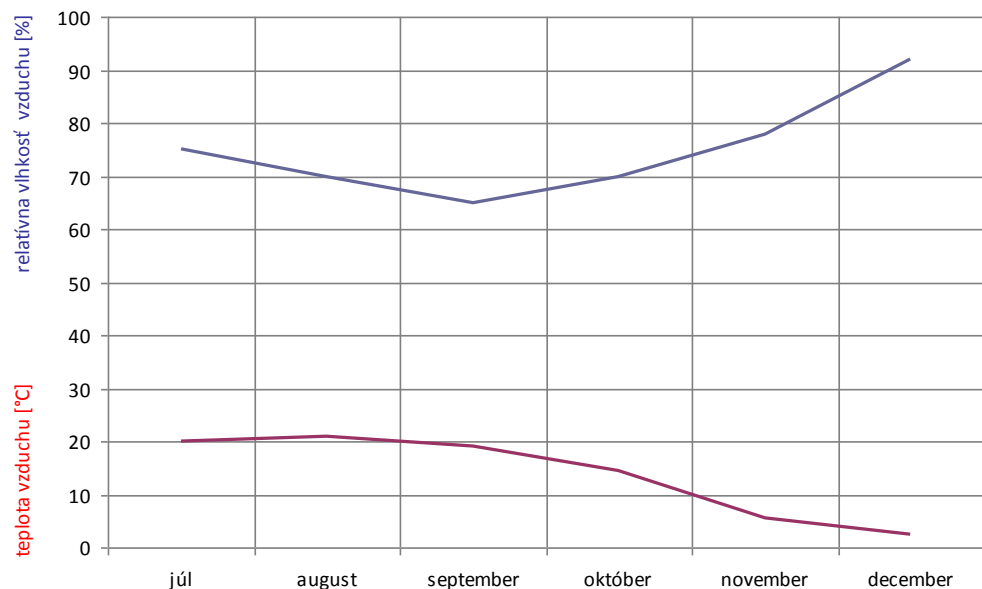
Znižovanie vlhkosti dendromasy z porastov plantažnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín respiračným sušením

Zber dendromasy z porastov plantážnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín realizovaný formou tzv. dvojstupňového zberu, t. j. po spílení stromčekov sa tieto budú na hromadách voľne prirodzene sušiť na vzduchosuchý stav $W_r = 25\%$ a následne sekať na štiepku má v porovnaní s jednostupňovým zberom nasledovné výhody:

- *Zníženie vlhkosti dendromasy energetickej štiepky,*
- *Zníženie hustoty dendromasy energetickej štiepky,*
- *Zníženie strastnej hustota dendromasy energetickej štiepky,*
- *Zníženie nákladov na prepravu energetickej štiepky,*
- *Zvýšenie výhrevnosti dendromasy energetickej štiepky.*

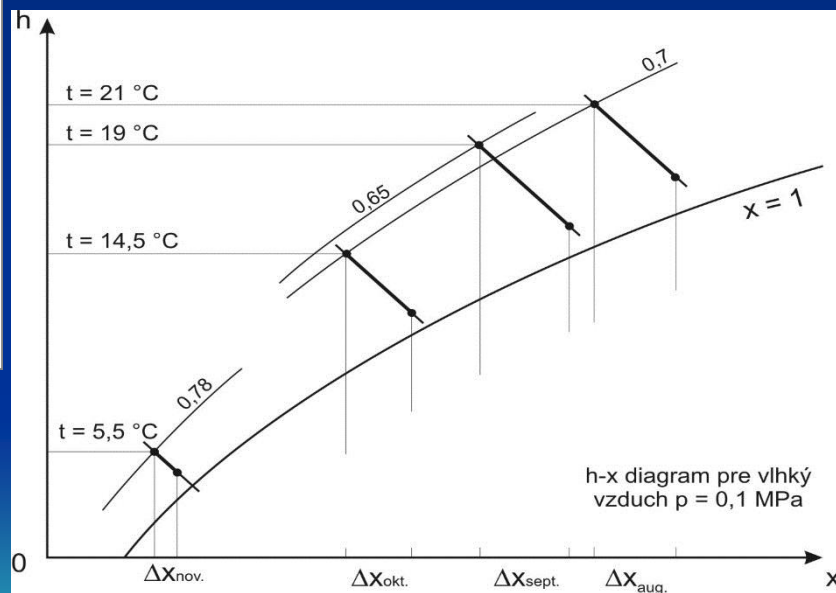


Klimatické podmienky na respiračné sušenie dendromasy na území Slovenska



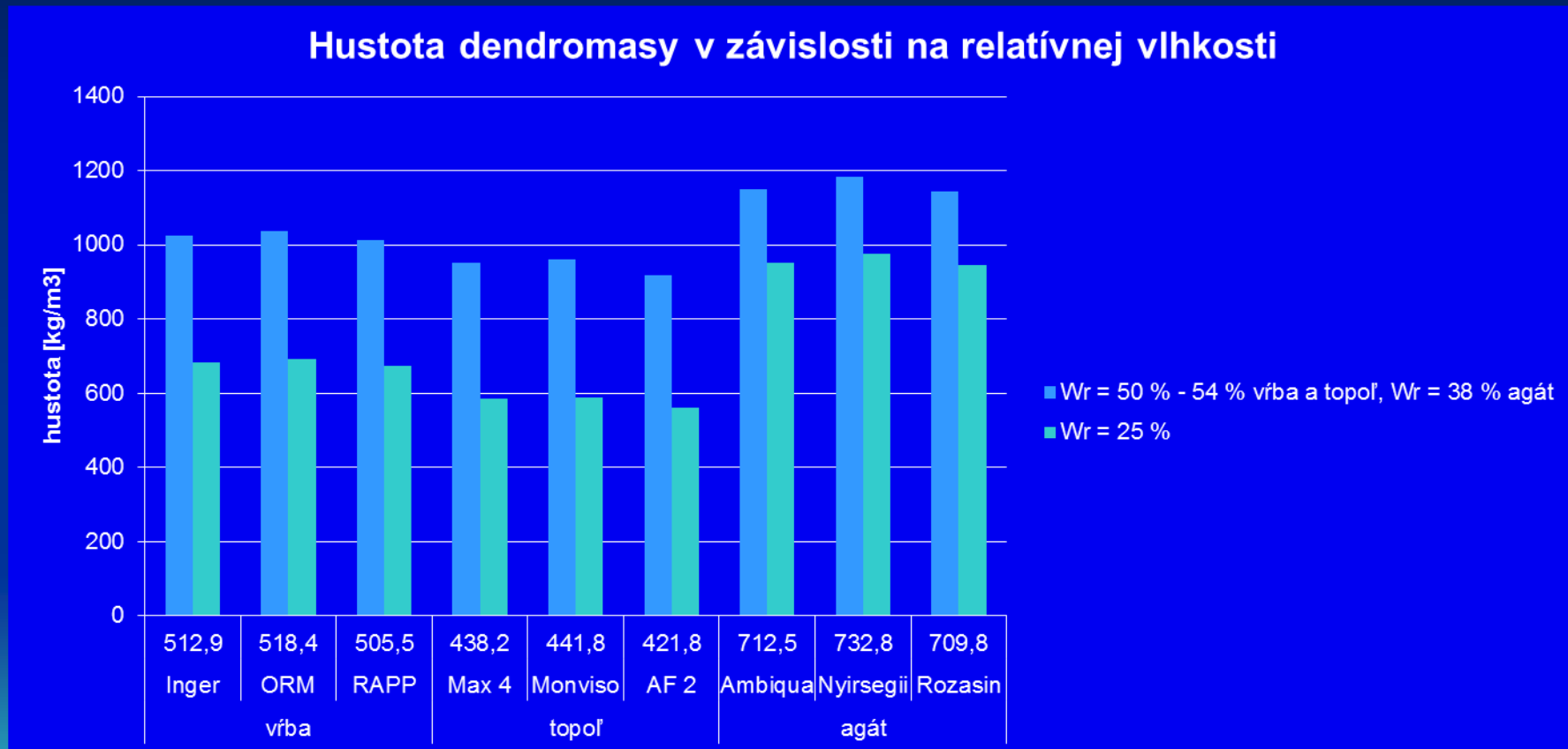
Priebeh teplôt a relatívnej vlhkosti atmosférického vzduchu v druhej polovici roka v podhorských oblastiach Slovenska.

Podmienky pre transpiračné sušenie spílených stromčekov v Mollierovom diagrame vlhkého vzduchu v podhorských oblastiach Slovenska v druhej polovici roka.



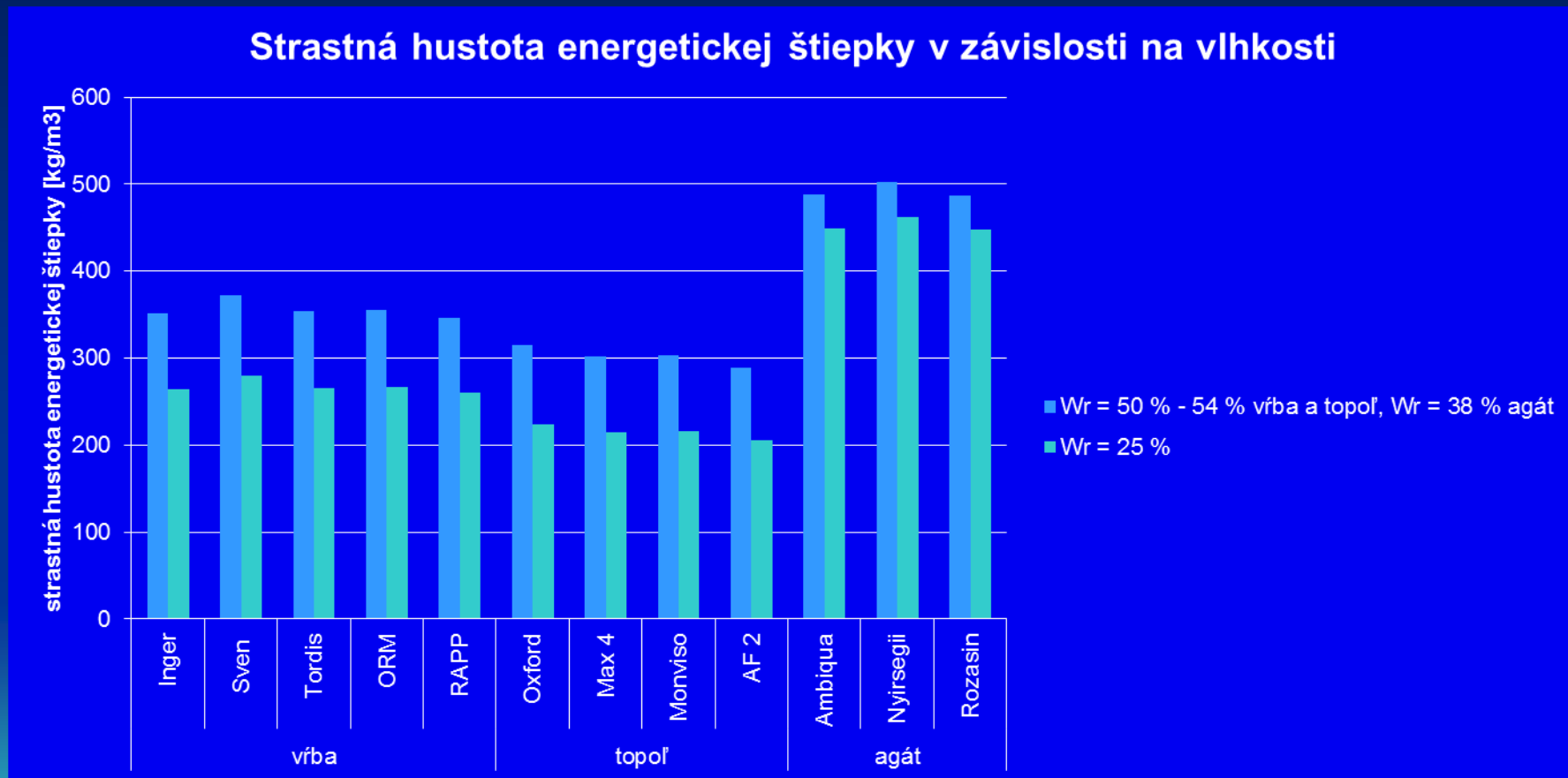


Vplyv respiračného sušenia na zmenu hustoty dendromasy energetickej štiepky z porastov rýchlorastúcich drevín



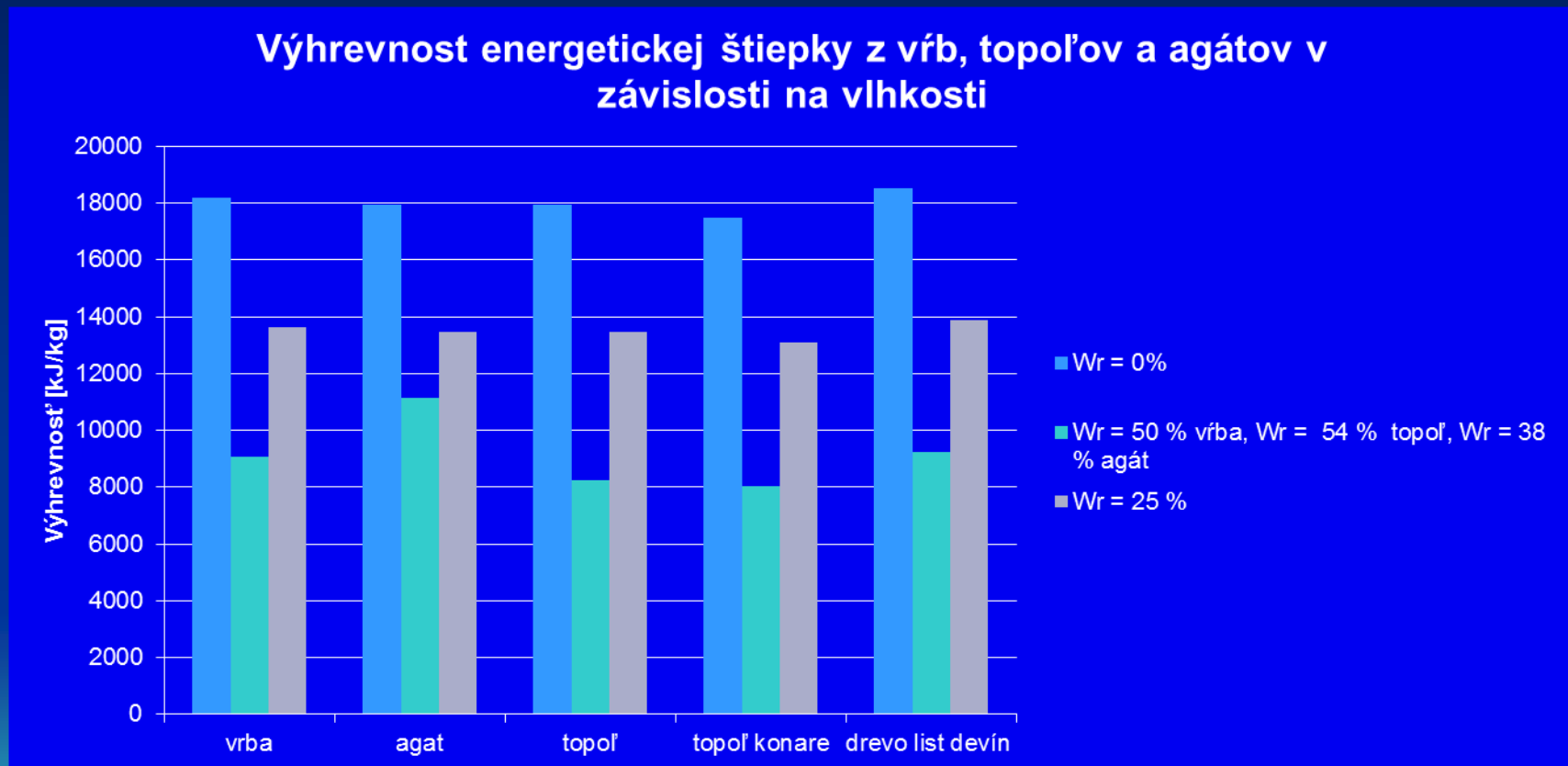


Vplyv respiračného sušenia na zmenu strastnej hustoty energetickej štiepky z porastov rýchlorastúcich drevín





Vplyv respiračného sušenia na zvýšenie výhrevnosti energetickej štiepky z porastov rýchlorastúcich drevín





Ďakujem za pozornosť