

VLIV SKLADOVACÍCH PODMÍNEK SEMEN ŘEPKY NA ZMĚNY MODULU STLAČITELNOSTI A DEFORMACI SEMEN

Effect of Storage Conditions for Rapeseed on Module Compressibility and Deformation of Rapeseed

Grzegorz SZWED¹, Josef PECEN², Stanislaw GRUNDAS¹, Petra ZABLOUDILOVÁ²

¹Instytut Agrofizyki Polskiej Akademii Nauk w Lublinie; ²Česká zemědělská univerzita v Praze

Summary: Executed and described experiment was based on long-term static load three varieties of oilseed rape (Californium, Bazyl and Star) with three different levels of seed moisture: 7 %, 9 % and 11 %. It was observed resizing module compressibility of these seed, depending on the static pressure, temperature and seed moisture. Samples of rape seeds, each weighing 2.5 kg exposed to these conditions have been poured into the rubber ball bushings (stigma), which were loosely placed inside steel vessels where the temperature was changed (7, 20, 30°C) and pressure inside the vessel was gradually adjusted to the values 100, 200 and 300 kPa. These conditions approximately simulate conditions in the industrial storage silos. The obtained values of deformation seeds showed a reliable effect of these conditions within 30 days of storage.

Keywords: rapeseed, flexibility, deformation, storage

Souhrn: Provedený a popsáný experiment byl založen na dlouhodobém statickém (tlakovém) zatížení třech odrůd řepky (Californium, Bazyl a Star) se třemi různými stupni vlhkosti semen: 7%, 9% a 11%. Byla sledována změna velikosti modulu stlačitelnosti těchto semen v závislosti na statickém tlaku, teplotě semen a jejich vlhkosti. Vzorčky semen řepky, každý o hmotnosti 2,5 kg vystavené těmto podmínkám byly nasypány do kulových gumových pouzder (vzdušnic), které byly umístěny uvnitř ocelových nádob, kde se měnila teplota (7, 20, 30°C) a tlak uvnitř nádoby byl postupně nastavován na hodnoty 100, 200 a 300 kPa. Tyto podmínky přibližně simulovaly skladovací poměry v průmyslových sílech. Získané hodnoty deformace semen vykazaly spolehlivě vliv těchto podmínek během 30 dnů skladování.

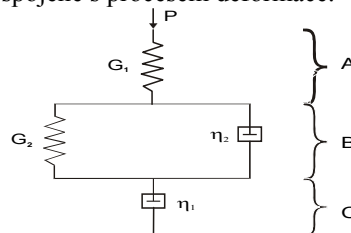
Klíčová slova: semena řepky, pružnost, deformace, uskladnění

Úvod

V zemědělství, zejména jeho zpracovatelské oblasti, se dá předpokládat stálý rozvoj reologického výzkumu zejména rostlinných materiálů. Zde jednak není pokrok tak rychlý jako v jiných částech národního hospodářství, i když biologický materiál na rozdíl od konstrukčního představuje nezvykle složitý objekt výzkumu především z hlediska proměnlivosti vlastností určených geneticky i prostředím. Objem výzkumu týkajících se reologických jevů materiálu stále vzrůstá. Dotýká se to také technologií spojených s uskladňováním sypkých biologických materiálů (obecně partikulárních látek). Z pohledu techniky skladování v sílech, má poznání reologie těchto materiálů určitě značný praktický význam. Deformovaná a poškozená semena mohou například místně velmi zmenšit volné prostory ve vrstvě semen tak, že ta se stane nepropustnou pro proudění vzduchu [4,5,6]. Taková místa nemohou být dobře provětrávaná (aerovaná), což způsobuje ve vrstvě skladovaného materiálu vznik velkých lokálních gradientů (rozdílů) teploty a vlhkosti [1,2]. Způsobuje to také rychlý rozvoj bakterií a plísní, které mají značný vliv na jakost skladovaného materiálu [3,8]. Jev samotřídění a vzrůstu tlaku na slupku (obal) semena při plnění síla způsobuje, že se zvětšuje utužení masy semen, mění se její tribologické vlastnosti (vzrůstá koheze i vnitřní tření semen, mění se odolnost materiálu pro dosažení původního stavu po odstranění zatížení [4,7]. Deformace trvale uskladněných semen (v důsledku působení horních vrstev v náplni síla) stanoví jeden z nejdůležitějších ukazatelů charakterizujících vhodnost uskladnění zrnitých materiálů, zejména pocházejících ze zemědělství ve velkých sílech. Semena řepky (vystavené stálému tlaku v důsledku horních vrstev materiálu) s ohledem na svou strukturu i chemické složení se chovají jako ob-

jekty s viskoelastickými vlastnostmi, tedy jako látky někde mezi tuhými tělesy a kapalinami [10,15,13]. Chování semen vyplývá z jejich nehomogenní vnitřní stavby nebo chemického složení. Semena řepky jsou zjednodušeně tvořena zárodkem a na obvodu (obalem) slupkou a mezi těmito částmi se nacházejí prostory, které vlivem napětí pocházejícího od vnějších sil budou zanikat [14]. Chování semen řepky v sílu je možné popsat s využitím reologického modelu Morrowa a Mohsenina [9], známého jako model Maxwella-Kelvina, který je na obr. 1.

Uvažovaný model se skládá ze seriového spojení modelu Maxwella a modelu Kelvina (Voighta). Pracovním zaměřením uvažovaného modelu je zkoumání sledu závislostí mezi tlakem v nádobě (sílu) a vzniklou odezvou zkoumaného vzorku. Jestli uvažujeme o tlaku jako analogii napětí a změnu objektu jako analogii zatížení, tak získaná závislost směřuje k formulaci odpovídajícího výrazu (rovnice) popisujícího deformaci zkoumaných semen. Zajisté, že takové modely můžeme tvořit v době, kdy známe prvky strukturálně analyzovaného materiálu nebo jeho mechanické vlastnosti spojené s procesem deformace.



Obr.1. Model Maxwella-Kelvina. **P** – tlak v komoře (napětí semen), **G** – modul pružnosti semen, **η** – Koeficient dynamické viskozity, **A** – pružná deformace, **B** – opožděná pružná deformace, **C** – trvalá deformace

Celková vnitřní deformace ε_w vzorku semen by tedy probíhala podle uváděného výrazu:

$$\varepsilon = \frac{P}{G_1} + \frac{P}{G_2} \left[1 - \exp\left(-\frac{G_2 \cdot \tau}{\eta_2}\right) \right] + \frac{P}{\eta_1} \cdot \tau \quad (1)$$

kde znamená:

ε deformaci semen

P konstantní velikost přiloženého napětí, $N \cdot m^{-2}$

η koeficient dynamické viskozity, $N \cdot s \cdot m^{-2}$

τ čas, s

G modul pružnosti semen řepky, $N \cdot m^{-2}$

Z počátku to budou deformace pružné, které během delší doby skladování přejdou v deformace trvalé. Důsledkem těchto jevů bude deformace až zničení struktury buněk semen. Patříce na obvyklé uspořádání množství semen v silu, můžeme vyjádřit následující druhy deformací celého vzorku vzniklých v důsledku již existujícího namáhání (obr. 2):

ε_p prvotní deformace vzniklá v důsledku přemísťování semen nebo změny jejich vzájemné polohy či orientace. Velikost těchto deformací závisí na rozdílu ve velikostech skladovaných semen, jejich tvaru a především na koeficientu tření mezi nimi, protože se jedná převážně o vzájemný pohyb semen na základě jejich vnějšího zatížení (vzorku).

ε_{w1} druhotná deformace vzniklá deformací pružných a viskoelastických elementů vnitřní struktury semen jako výsledek existence volných vnitřních prostor (v semenech). Na velikost těchto deformací má vliv struktura a stavba semen, místo působení namáhání, koeficient tření mezi jeho jednotlivými částicemi uvnitř semen a pod.

ε_{w2} druhotná deformace – trvalá, vzniklá z deformací a destrukce jednotlivých buněk semen

V případě semen řepky o různém stupni zralosti a různých mechanických vlastnostech je možné se domnívat, že všechna semena nebudou reagovat stejně na působící namáhání (tlak).

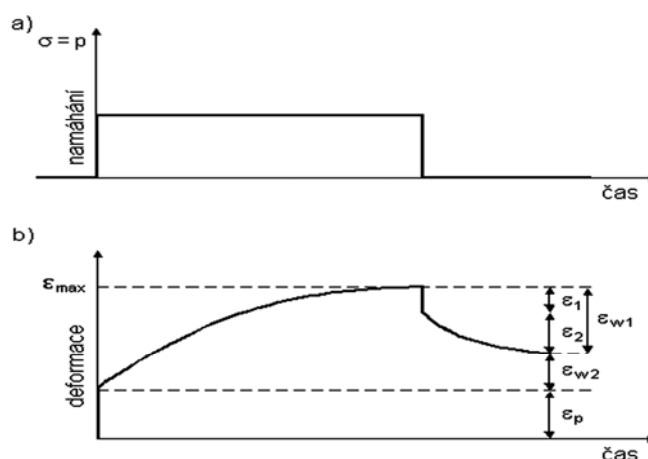
Semena řepky jsou v porovnání se zrný obilninou mnohem snadněji náchylná na deformace vzniklé z mechanických napětí (namáhání) působících v silách. Jejich vlivem dochází v krajních případech k hrudkování (spékání) semen, což znesnadňuje nejen průtok vzduchu vrstvou skladovaných semen ale i

Materiál a metoda

Hledání mechanických vlastností semen, které nás zajímají je nejlepší dělat pomocí modelu s vybraným výzkumným materiálem. Výsledky získané touto metodou dovolují verifikovat existující hypotézy a pomáhají jejich praktickému využití. Celý popsaný experiment byl uskutečněn se třemi odrůdami řepky (Californium, Bazyl a Star) a třemi různými vlhkostmi (7, 9 a 11%). Dále byly použity tři teploty vzorků (7, 20 a 30°C) a tři různé tlaky vzduchu uvnitř experimentální nádoby (100, 200 a 300 kPa).

Očištěná semena řepky s odpovídající vlhkostí o celkové hmotnosti 2,5 kg byla zformována do tvaru koule jejich nasypáním do gumových vzdušnic, které byly umístěny do tlakových nádob. S vnějším prostředím byly tyto vzdušnice se semeny spojeny ventily, pro měření tlaku vzduchu. Vzdušnice byly upevněny v nádobě na dolním konci, jak ukazuje obr. 3. Změna průměru této vzdušnice, o přibližném tvaru koule, byla

jejich vyskladňování ze síla. Spečená semena zcela ztratila, z hlediska jejich pevnosti, svou pružnost ($\varepsilon_1 = 0$) a jejich provětrávání kleslo na minimum. Trvalá deformace semen pod vlivem existujícího napětí je neodvratná. Příčinou takových důsledků jsou procesy způsobené degradací stěn buněk semena nebo místní přesuny jejich částí (uvnitř semen). Viditelným výsledkem je zvětšení hustoty vrstvy semen, což velmi zmenšuje její pórovitost a znemožňuje provětrávání. Lepší poznání změn způsobených vnějšími podmínkami dovolí predikovat chování uskladněného materiálu např. v silách. V práci je rozebrána závislost změn deformace objemových vzorků semen řepky za uvedených podmínek v průběhu 30 dní sledování experimentu.



Obr.2. Časový průběh chování semen vzorku v tlakové komoře pod vlivem nastaveného tlaku (namáhání σ).

a) způsob namáhání semen

b) průběh deformace semen vlivem namáhání

ε_{w1} – deformace druhotná, vratná

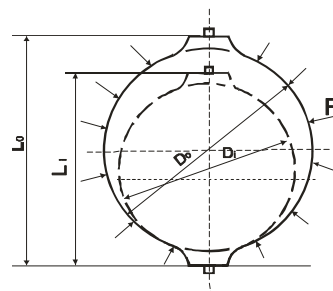
ε_1 – pružná

ε_2 – viskoelastická

ε_{w2} – deformace druhotná – trvalá

ε_p – prvotní deformace

měřena pomocí potenciometru. Semena řepky ve vzdušnici byla vystavena statickému tlaku vzduchu uvnitř nádoby, který se měnil a simuloval tak výšku vrstvy semen v síle a její účinky. Sledované parametry byly odečítány až po ustálení změn v důsledku změny tlaku vzduchu v nádobě. Vlivem existujícího tlaku vzduchu P v komoře počala deformace objemu vzorku semen. Parametr L_0 odpovídal měřená



Obr.3. Model měření objemu vzorku semen. Počáteční velikost objemu vzorku v_0 před nastavením tlaku vzduchu v nádobě na zvolenou stálou velikost. Vlivem hydrostatického tlaku vzduchu v nádobě, působícího na vzorky semen, začala postupně jejich deformace objemu, způsobená driftem semen (jejich posouváním), jehož velikost byla podle zvoleného tlaku v nádobě závislá hlavně na odrůdě, semenech, jejich vlhkosti a teplotě v nádobě. Vzniklé deformace byly charakteru pružného i trvalého. Znajíce počáteční velikost L_0 a aktuální parametr L_i (Obr.3.), můžeme napsat, že ε_{ob} (relativní změna objemu vzorku semen) je:

$$\varepsilon_{ob} = \frac{V_0 - V_i}{V_0} = \frac{\Delta V}{V_0} \times 100\%, \quad (2)$$

V_0 je objem vzorku semen po nasypání do vzdušnice. Vzorek semen je zformovaný pouze pružností vzdušnice

V_i je objem semen po nastavení tlaku v komoře ve chvíli odečtu

ΔV je velikost změny objemu vzorku semen ve chvíli odečtu

Tato změna objemu byla samozřejmě různě velká a záležela na odrůdě semen, teplotě i jejich vlhkosti. Výsledkem existujícího tlaku vzduchu v nádobě jsou změny objemu vzorků semen. Velikost parametru L_i ukazovala na určení aktuálního objemu vzorku semen ve chvíli odečtu. Výsledky uváděné v tab.1 představují hodnoty modulu stlačitelnosti K vzorků semen po určené době jejich zatížení nastaveným hydrostatickým tlakem vzduchu v nádobě. Velikost modulu lze určit ze vztahu:

$$K = \frac{P \times v_0}{\Delta v}, \text{ MPa} \quad (3)$$

v_0 je objem vzorku semen před nastavením tlaku v komoře

P je velikost nastaveného tlaku v nádobě

Δv je rozdíl objemů před a po nastavení zvoleného tlaku vzduchu v nádobě

Parametr vzorku L_i byl měřeno v jednodenních odstupech po celou dobu experimentu (30 dní).

Výsledky a diskuse

V tabulce 1. jsou přehledně uvedeny výsledky měření relativní změny objemu vzorků semen řepky a to v závislosti na teplotě, vlhkosti semen, odrůdě a použitém tlaku vzduchu v nádobě.

Z uvedených dat v tab.1 je zcela zřetelné vidět, že při nižší teplotě skladování je objemová deformace vzorků semen menší a se vzrůstající teplotou stoupá. Nezanedbatelnou úlohu zde hraje i odrůda řepky. To je dobře vidět u odrůdy Star. Tlak vzduchu v nádobě 300

kPa představuje výšku skladovaných semen v sílu asi 30 m.

Tab.2. udává vypočtené hodnoty modulu stlačitelnosti (vypočtené z rovnice (3)). Stlačitelnost, která je často tabelovaná a uváděná je převrácenou hodnotou modulu stlačitelnosti K .

Tab.1 Relativní změny objemu ε (%) semen řepky

Odrůda	Vlhkost semen (%)	Tlak v nádobě (kPa)	Teplota uskladnění (přechovávání) semen v tlakové nádobě														
			7°C					20°C					30°C				
			Výsledky měření					Výsledky měření					Výsledky měření				
			1	5	10	20	30	1	5	10	20	30	1	5	10	20	30
Bazyl	7	100					3,0	3,7	4,9	5,1	5,4						
		200					8,2	11	12	12	12						
		300	4,9	9,4	13	13	13	9,2	13	14	16	17	11	14	15	16	17
	9	100					5,5	8,7	8,8	8,8	8,8						
		200					15	17	19	21	22						
		300	8,7	11	12	14	14	18	23	24	25	26	19	24	27	29	29
	11	100					13	19	20	21	22						
		200					21	24	26	28	28						
		300	21	22	23	25	25	22	26	28	29	30	21	31	33	35	35
Californium	7	100					3,2	3,5	4,0	4,7	4,9						
		200					6,1	7,0	7,8	8,0	8,0						
		300	5,8	6,8	7,7	8,4	8,6	11	12	13	14	14	15	19	20	25	25
	9	100					4,9	7,9	8,3	8,5	8,5						
		200					14	16	17	18	18						
		300	7,9	10	11	13	14	17	22	23	25	25	20	21	23	28	28
	11	100					12	14	18	19	19						
		200					21	23	23	25	25						
		300	19	22	22	23	24	22	24	26	27	27	23	28	30	33	33
Star	7	100					3,0	3,3	4,0	4,2	4,2						
		200					5,9	7,0	7,2	7,5	7,5						
		300	5,6	6,5	7,7	8,0	8,2	10	11	11	12	12	13	15	21	27	27
	9	100					4,8	7,6	8,0	8,0	8,2						
		200					13	15	17	17	17						
		300	7,6	8	9	11	12	16	20	21	23	23	20	21	23	28	28
	11	100					10	11	13	15	15						
		200					18	20	21	23	23						
		300	17	20	21	21	22	20	22	25	25	25	23	25	28	30	30

Závěr

1. Provedený experiment ukázal, že při teplotách skladování semen řepky do 20°C lze celkem dobře asi po 20 dnech predikovat vývoj skladování semen, protože zhruba po této době jsou naměřené hodnoty deformace semen ustálené.
2. Vliv teploty, vlhkosti a tlaku v komoře na deformaci semen je větší než vliv odrůdy řepky.
3. Z uvedených tří odrůd byla odrůda Star nejlepší pro skladování. Nejvíce odolávala deformaci.
4. Uvedená metoda by po zjednodušení možná mohla sloužit pro první orientaci o mechanických vlastnostech a chování každé odrůdy řepky při skladování.

Použitá literatura

- Bern C.J., Charity L.F., 1975. Airflow resistance characteristics of corn as influenced by bulk density. ASAE Paper no. 75-3510, St. Joseph, Mich.
- Eurocode 1: 1996. Basis of design and action structures. Part 4. Actions in silos and tanks. DD ENV 1991-4.
- Hague E., Chung D.S., Foster G.H., 1981. Pressure and velocity field in airflow through packed bed of corn mixed with fines under non – Darcy flow conditions. Trans. ASAE, 24(6), 1595-1604.
- Janowicz L.: 2004. Przechowywanie nasion rzepaku w magazynach silosowych. Rzepak, czerwiec, 47-50.
- Jayas D. S.: 1987. Resistance of bulk canola oilseed to airflow. Unpublished Ph. D. thesis. Department of Agricultural Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, Sask.
- Jayas D.S., Sokhansanj S., Sosulski F.W., 1990. Resistance of bulk canola seed to airflow in the presence of foreign material. Canadian Agricultural Engineering, (33), 47-54.
- Kolowca J., 2006. Wpływ wielokrotnych obciążeń statycznych na stopień zagęszczenia i właściwości reologiczne masy ziarna, Inżynieria Rolnicza 13/2006, 193 – 199.
- Kumar A., Muir W.E., 1986. Airflow resistance of wheat and barley affected by airflow direction, filling method and dockage. Trans. ASAE, 29(5), 1423-1426.
- Mohsenin N.N., 1978. Physical properties of plant and animal materials. 2.ed. Gordon and Breach Sc. Publ. New York-London-Paris.
- Pecen J., Szwed G., 2005. Shapes of Seed Impact Records Made by Repeated Seed Uses. 4th International Workshop "Applied Physics in Life Sciences", 23.08.2005, Praga Czechy, 29 – 32.
- Pecen J., Zabloudilová P., 2009. Vybrané způsoby kontroly kvality uskladnění řepky v průběhu jejího skladování. Prosperující olejnin, 11-12.12. 2009, ČZU Praha. Zemědělská společnost při ČZU v Praze, s.67-71. ISBN 978-80-213-2012-3.
- Szwed G., 2000. Kształtowanie fizycznych i technologicznych cech nasion rzepaku w modelowanych warunkach przechowywania. Instytut Agrofizyki PAN Acta Agrophysica 27, , str. całości 1-122, I.ark.wyd. 8,7.
- Szwed G., 2000. Wpływ czasu przechowywania na zmianę oporu przepływu powietrza przez warstwę nasion rzepaku. Acta Agrophysica, 37, 225-235.
- G. Szwed., 2008. Badania właściwości mechanicznych nasion rzepaku podczas zróżnicowanych warunków przechowywania., Monografia „Właściwości Fizyczne i Biochemiczne Materiałów Roślinnych”, Wyd. Nauk. FRNA, Komitet Agrofizyki PAN Rozdz. 16, 221-238.
- G. Szwed, J. Pecen., 2007. Vliv podmínek uskladnění na deformaci a provzdušňování vrstvy semen řepky. Agricultura – Scientia – Prosperitas. Česká zemědělská společnost, Sdružení Český mák a Katedra rostlinné výroby na ČZU v Praze 12.12.2007r.

Kontaktní adresa

Josef Pecen, ČZU - ITS, Kamýcká 129, 16521 Praha 6 – Suchbát, e-mail: pecen@its.czu.cz

Práce byla podporována v Polsku grantem č.: 2 P06T 051 30 a v České republice grantem Ministerstva zemědělství – QH 92195 a grantem ČZU 51130/1313/3103.

Tab. 2. Modul stlačitelnosti K semen řepky sledovaný v závislosti na vlhkosti, teplotě a velikosti hydrostatického tlaku P . Modul je uváděn v MPa.

Zatížení, Vlhkost Odrůda, Teplota		Vlhkost semen $w = 7\%$						Vlhkost semen $w = 9\%$						Vlhkost semen $w = 11\%$					
		Tlak P , kPa						Tlak P , kPa						Tlak P , kPa					
		50	100	150	200	250	300	50	100	150	200	250	300	50	100	150	200	250	300
7°C	<i>Bazyl</i>	5,85	6,00	6,68	6,82	7,84	8,93	1,16	1,95	2,06	2,19	2,22	2,32	1,09	1,61	1,75	1,81	1,99	2,01
	<i>Califonium</i>	4,80	5,05	6,62	6,74	7,59	8,05	1,12	1,90	2,03	2,04	2,09	2,14	0,97	1,46	1,59	1,69	1,82	1,90
	<i>Star</i>	6,13	6,24	6,74	6,92	8,99	8,00	1,26	1,99	2,16	2,29	2,21	2,26	1,11	1,72	1,81	1,97	2,12	2,23
20°C	<i>Bazyl</i>	3,27	3,34	4,16	4,20	4,24	4,43	1,10	1,35	1,39	1,43	1,76	1,81	1,04	1,24	1,28	1,39	1,51	1,73
	<i>Califonium</i>	2,87	2,91	3,79	4,02	4,09	4,11	1,07	1,14	1,27	1,36	1,45	1,55	0,97	1,11	1,25	1,28	1,38	1,50
	<i>Star</i>	3,36	3,55	4,21	4,32	5,10	5,23	1,12	1,49	1,49	1,56	1,82	1,93	1,03	1,31	1,34	1,45	1,60	1,83
30°C	<i>Bazyl</i>	1,88	1,99	2,38	2,56	2,60	2,89	0,92	1,32	1,38	1,40	1,45	1,56	0,91	1,36	1,34	1,35	1,36	1,48
	<i>Califonium</i>	1,37	1,49	1,80	1,85	2,36	2,40	0,79	1,11	1,25	1,39	1,42	1,45	0,80	0,97	1,20	1,22	1,35	1,41
	<i>Star</i>	2,01	2,06	2,44	2,62	2,73	2,94	1,00	1,39	1,40	1,50	1,59	1,63	0,99	1,39	1,40	1,41	1,49	1,51