



A kép illusztráció / The picture is illustration

Szabó P. Balázs, Véha Antal, Gyimes Ernő¹

Érkezett/Received: 2014. február/February – Elfogadva/Accepted: 2014. július/July

Búza szemkeménységének meghatározása magmérő eljárásokkal

1. Összefoglalás

A szemkeménység a búzák egyik igen fontos paramétere. A szemkeménység morfológiai szinten a keményítőszemcsék és a fehérjemátrix közötti adhézió mértékének függvénye. A keletkező őrlemény és az endospermium szerkezete közötti összefüggést már régóta vizsgálják. A jelen kísérletekben a búza szemkeménységét a Lloyd 1000 R állományvizsgáló berendezés segítségével terveztük meghatározni, amelyhez egy új, kvázi statikus mérési eljárást dolgoztunk ki. A szemet két különböző pozícióban vizsgáltuk (álló és fekvő helyzetben). Meghatároztuk a szemek Young-féle rugalmassági modulusát, a töréshez szükséges munkát és a maximális törőerőt. A kapott eredményeket összehasonlítottuk más, már elterjedt szemkeménység meghatározó eljárással (Perten SKCS 4100 mérőműszer). Az összehasonlításhoz a páros korreláció módszerét alkalmaztuk. A mintasornál (nedvességtartalom: 13,52%) a Hardness Indexnek szoros kapcsolata van a szemek függőleges helyzetében kompressziós eljárással mért deformációs modulussal, a törőerővel és a törő munkával. A szemek vízszintes helyzetében történő kompressziós eljárással mért deformációs modulussal szoros, a törőerővel pedig elfogadható a kapcsolata a Hardness Indexnek. A malom- és sütőiparban a keményszemű búzák számítanak jó minőségűnek. Kísérleteink eredményei a puha- és keményszemű alapanyagok elkülönítéséhez nyújtanak segítséget.

2. Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben a búza magbelső szerkezetén alapuló besorolás (kemény- és puhaszemű búza) jelentősége megnövekedett. Az endospermium (magbelső) szerkezet összefügg a végtermék előállítására szempontjából igen lényeges tulajdonságokkal. A magbelső alkotja a mag tömegének és térfogatának legnagyobb részét, ezért ismerete nélkülözhetetlen. Két részből áll, a héjhoz közelebb eső aleuronrétegből és a liszttestből. Az aleuronréteg egy sejtsor vastagságú. A magbelső legnagyobb tömegét a liszttest képezi. Parenchimatikus sejtekből áll, belsejüket kémiai főleg keményítő alkotja, ezek között helyezkedik el a szemcsés formájú, alakatlan fehérje.

A szemkeménység függ a keményítőszemcsék és a fehérjemátrix közötti adhéziós erőttől, az adhéziós kötődés erősségét egy 15 kDa méretű fehérje, a friabilin

szabályozza. A keményítőszemcsék felületéhez kötődő friabilin alkalmazható a puha- és keményszemű típusok elkülönítésére. A szemkeménységen alapuló osztályozás (puha, kemény) ismerete a gabonaiipari technológiák tervezése tekintetében fontos. Mivel a szemkeménység jól öröklődő genetikai tulajdonság (amelyet kisebb mértékben egyéb tényezők is befolyásolhatnak), ezért az endospermium szerkezetének felhasználóiipari (malomipar, tésztaipar, sütőipar, édesipar) megkülönböztetésére a nemesítő gyakorlatban a szemkeménységre történő nemesítés jelentős minőségformáló tényező.

A genetikai kutatások során felfedezték a búza endospermium textúrájának tulajdonságait kódoló *Ha* gént, amely a búza 5D kromoszómáján található [1], [3], [2]. Ez az eredmény azért érdekes, mert a D genom a hexaploid *aestivum* búzáknál szignifikánsan keményebb tetraploid *durum* búzákból hiányzik [4], [5], [6], [7].

¹ Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Élelmiszermérnöki Intézet, 6725 Szeged, Moszkvai krt. 5-7., Tel.: (62) 546-030; E-mail: szpb@mk.u-szeged.hu

¹ University of Szeged, Faculty of Engineering, Institute of Food Engineering, 6725 Szeged, Moszkvai blvd. 5-7. Tel.: (62) 546-030; E-mail: szpb@mk.u-szeged.hu

Ebből az következik, hogy az endospermium keménységét meghatározó mechanizmusban nem a keménység, hanem éppen annak ellenkezője, a puhaságot felelős genetikai faktor a meghatározó.

A búzafajta szemkeménysége elsősorban függ a keresztezési partnerek szemkeménységétől. E tulajdonság heritabilitás szerint kemény*puha szemű kombináció esetén 0,60-0,72 az endospermium struktúráját szabályozó elsődleges régió az 5D kromoszóma rövid karján található, ugyanakkor a 2A, a 2B, az 5B és a 6D kromoszómán is kimutattak szemkeménységet befolyásoló régiókat [8].

A keményítőszemcsék felületéhez kötődő friabilin alkalmazható a puha- és kemény szemű típusok elkülönítésére. A puha fajtáknál a keményítőből ez a fehérje 50 °C-on 1% anionos detergens tartalmú oldószerrel kivonható és poliakrilamidgélén azonosítható. A kemény búzáknál csak kis mennyiségben vagy egyáltalán nem észlelhető ilyen eredmény [9].

Számos vizsgálatot végeztek a szemkeménységet befolyásoló tényezőkre. Ilyen az előbb ismertetett fehérje hatása, de meg kell még említeni a szemméretre [10], [11], [12] és a nedvességtartalomra [13], [14], [15] vonatkozó munkákat is.

Az endospermium szerkezetének meghatározására szemkeménység-mérő berendezéseket hoztak létre, amelyek az egyes szemek elroppantásához szükséges törőerőt mérik. A búza szemkeménységének a meghatározására számos módszert alkalmaznak. Ezek a módszerek közvetett módon határozzák meg a búzáknak szemkeménységét. Terjednek a gyorsvizsgálati módszerek, például közeli infravörös spektroszkópia (NIR, NIT), a Single Kernel Characterisation System (SKCS) 4100 egy magmérő készülék. A különböző mintákon belüli variabilitás mérésére sokkal alkalmasabbak az egy szemből mérő technikák. Véletlenszerű mintavétellel, kellően nagy mintaszámnál

a mintavételből eredő hibák minimálisra csökkenthetők. Kísérleteinkben a búza szemkeménységét egy Lloyd 1000 R típusú állományvizsgáló berendezés segítségével terveztük meghatározni, amelyhez egy új, kvázi statikus mérési eljárást dolgoztunk ki. A kapott eredményeket összehasonlítottuk más, már elterjedt szemkeménység meghatározó technikával (Pertén SKCS 4100 mérőműszer) kapható eredményekkel.

3. Anyag és módszer

A mérésekhez 11 fajtaazonos búzamintát használtunk, amelyeket kódszámmal láttunk el. Az átlagmintából végzett vizsgálatoknál a szem szerkezetéről az aprítás, töretés során felhasznált energiamennyiség, őrlési idő, aprítási fok stb. mennyiségi elemzése nyújt információt. A szemkeménységet búzaszemként általában törőeszközökkel (farinotóm, Charpy-inga) vagy penetrométeres módszerrel lehet megállapítani a nyíró-, nyomóerő nagysága, illetve a benyomódó test mélyedése alapján. A mérésekhez egy hagyományos, már alkalmazott mérési eljárást, valamint egy általunk kifejlesztett, kvázi statikus mérési módszert használtunk.

A Pertén SKCS 4100 magmérő készülék 300 darab búzaszem egyedi jellemzőit és Hardness Indexét (HI) határozza meg. A 300 ismétlés adatait statisztikailag elemzi és grafikusán ábrázolja az adatok gyakorisági eloszlását. Az átlagértékek mellett a szórást is automatikusan számítja. A szemkeménységet Hardness Index (HI) értékszámokkal jellemzi. A készülék működési elvét az **1. ábrán** mutatjuk be: a magemelő szerkezet egy mérlegen keresztül adagolja a vizsgálandó gabonaszemeket egy sarló alakú alkatrészre, amelyhez egy magtörő kerék illeszkedik. A magok a zúzással szembeni ellenállását a sarló alakú rész a hozzákapcsolt erőmérő cellának adja át. A műszert az erőadatot dolgozza fel.



A kép illusztráció / The picture is illustration

Determination of wheat grain hardness by different kernel measurement techniques

Balázs, P. Szabó; Antal, Véha; Ernő, Gyimes¹

1. Summary

The grain hardness is one of the most important parameter of wheat. On morphological level it depends on the adhesion of the protein matrix and starch granules. The correlation between the endosperm structure, and the resultant milled grain has long been investigated.

In the present experiments the grain hardness of winter wheat varieties were examined with Lloyd 1000 R Testing Machine, where an innovative, quasi-static procedure was developed. The wheat grain was examined in two positions (vertical and horizontal). The Young's modulus, the break work and the maximum breaking force were determined. The results were compared with other well-known method (Perten SKCS 4100 device). The method of pair correlation was applied for comparison study among the results. In case of our sample set (water content: 13,52 %), there were strong correlation among the Hardness Index and the Young's modulus, the break work and between the maximum breaking force at vertical position. At horizontal position of the grains, the Hardness Index had robust correlation with the deformation modulus at compression, and adequate correlation with the breaking force. In the milling and baking industry the harder wheat grains expected to have higher quality. Our experiments can be helpful to distinguish the softer and harder grains.

2. Introduction

In the recent decades the classification based on the internal structure of wheat grain (hard and soft type of wheat grain) increased significantly. The endosperm (core part of the grain) structure is strongly related with the key properties of the final product. The inner part of the grain consists the major portion of the seed weight and volume, and therefore it must be known. It contains two parts, closer to the seed hull is the aleurone layer, and inside the inner, starchy endosperm can be found. The aleurone layer is one cell line width. The starchy endosperm forms the main weight. It is composed of parenchymal cells, and the insides chemically composed by starch mainly, and amorphous proteins are inserted in this structure.

The grain hardness depends on the adhesion force between the starch and protein matrix, the adhesive bond strength regulated by a 15 -kDa protein, by the so called friabilin. Binding to the surface of starch granules, the friabilin used to separate the soft and hard - grain types. It is essential to know the grain hardness based classification of a grain (soft and hard) to design any type of grain industry technology. Since the grain hardness is a well heritable genetic properties (that could be affected slightly by other extent factors), therefore to distinguish the endosperm structure for applied industries (mills, pasta industry, bakery, confectionery industry) - grain hardness is used as a significant quality-forming factor in the breeder practice.

Genetic research discovered the coding *Ha* gene on the 5D chromosome of wheat which responsible for the

endosperm texture [1], [3], [2]. This is a result of interest because the D genome of the hexaploid aestivum wheat does not occur in the significantly harder tetraploid durum wheat [4], [5], [6], [7]. It concludes that the dominant mechanism of the endosperm hardness is not the hardness, but on contrary, the genetic factors of the softness are responsible to governing it.

The hardness of the wheat grain varieties is principally dependent on the kernel hardness of the crossed parental lines. This heritability of this properties in the case of the combination of hard*soft grains is 0.60 to 0.72, and the primary regulation region of the endosperm structure can be found on the short arm of the 5D chromosome, while on the 2A, 2B, 5B and 6D chromosomes there are also regions which affecting the grain hardness [8].

The friabilin, which binding to the surface of starch granules - is used to separate the soft- and hard grain types. At soft varieties, this protein is extractable from the starch structure at 50 °C, with 1 % of anionic detergent solvent, and it can be identified on polyacrylamide gel. At hard wheat, this protein can be observed only in small amounts or not at all [9].

Numerous studies have been done to define the factors affecting the grain hardness. Such is the effect of the protein described above, but research works about the effect of size distribution [10], [11], [12] and the moisture content [13], [14], [15] are must be mentioned too.

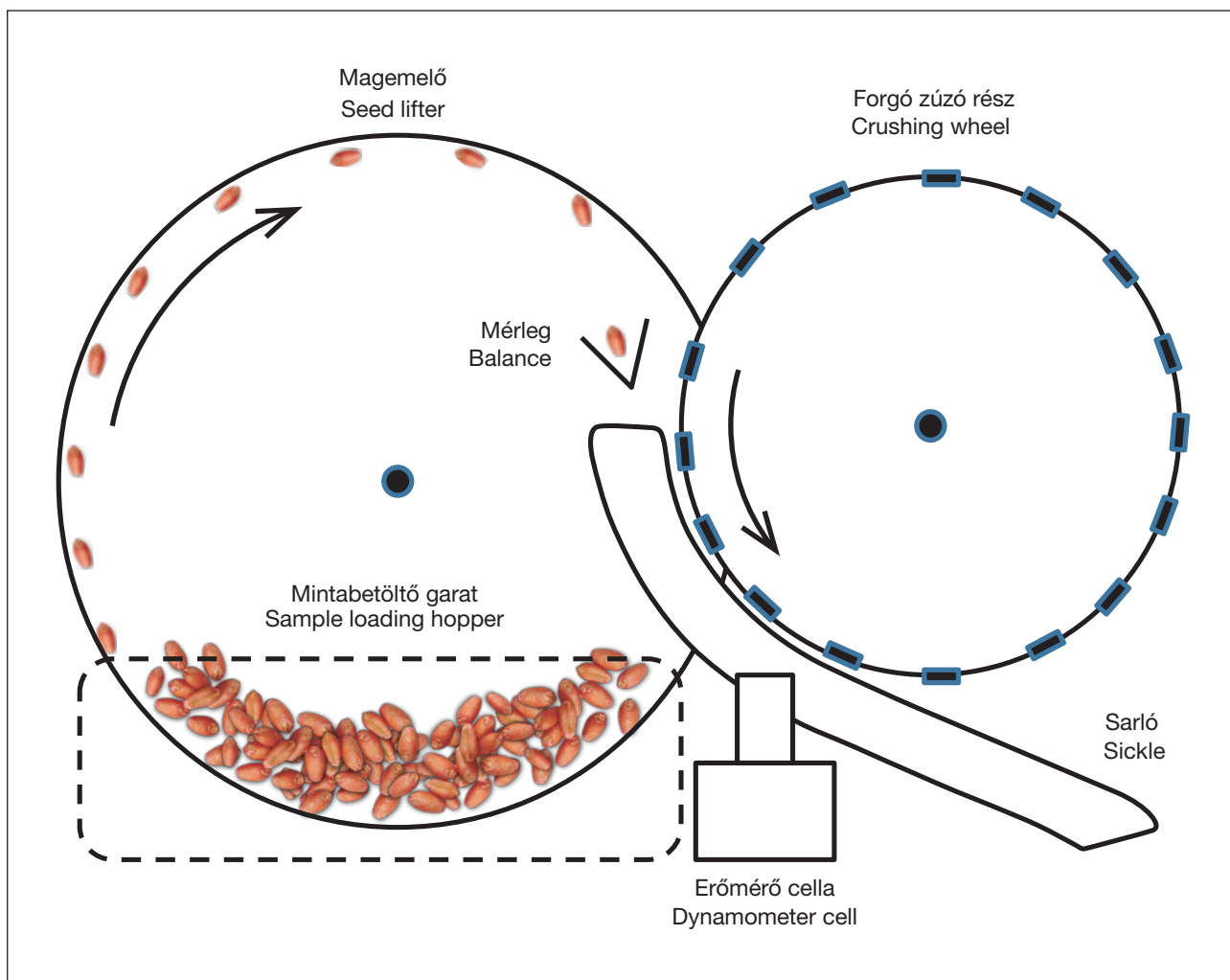
To describe the structure of endosperm, grain hardness measuring devices have been developed to measure the breaking force required for crushing the grain. Lot of methods are used to determine the wheat grain hardness nowadays.

These methods determine the wheat grain hardness indirectly. Rapid test methods are spreading, such as near-infrared spectroscopy (NIR, NIT), and the Single Kernel Characterisation System (SKCS) 4100. To investigate the variability inside a sample, a method is much more suitable if it can measure a single kernel. With the use of random and sufficiently large sampling, the errors originated from the sampling process, can be minimized. In our experiments, we applied a Lloyd 1000 R Lloyd type instrument for wheat grain hardness determination along with the support of a recently developed, quasi-static test technique. The results were compared with the outcomes of other well-known technique (Perten SKCS 4100 meter).

3. Materials and methods

Eleven different, authentic wheat varieties were applied, which were signed with a code. The investigation of a regular sample gives information about the grain structure through the quantitative analysis of breaking force and of the energy amount used during the breaking, and the milling time, and through the degree of grinding. The wheat grain hardness per kernel usually determined by breaking (farinotom, Charpy-pendulum) or penetrometer based on the shear and compression force and on the impact-size of the applied probe. For the investigation, a standard measurement procedure has been used along with a recently developed quasi-static test method.

The Perten SKCS 4100 kernel characterization system is determining the specific characteristics and Hardness Index (HI) of 300 individual wheat seed. It is analysing statistically the results of 300 repeated measurements and graphically shows the frequency distribution of the results. In addition to the average values, the standard deviation



1. ábra: Az SKCS 4100 mérőműszer mérési elve
 Figure 1.: The measurement principle of the SKCS 4100 instrument

A mérés során a készülék méri a szemek tömegét, méretét, nedvességtartalmát és azok szemkeménységét. A 300 szem egyedi jellemzőinek meghatározása után átlagolja a mért értékeket. Lehetőség van a mért eredmények grafikus ábrázolására is oszlopdiagramok formájában. A mérőprogram lehetőséget ad arra, hogy az utolsó mért eredményeket a következő minta mérése után is visszanezzük. A mért eredmények és azok hisztogramjai igény szerint kinyomtathatók. A vezérlőszoftver elmenti az üzemeltetési tényezőket is (hőmérsékletet, nyomást), valamint a törési jellemzőket (erőt, görbe alatti területet).

A készülékkel mérhető keménység érték – a Hardness Index (HI) – fizikailag nem meghatározott viszonyszám, vagyis szélsőséges esetekben nulla vagy negatív előjelű mért értékek is előfordulhatnak. Ezek természetesen nem tekinthetők helyesnek. A HI jellemző értéke puha szemű búzánál 0-30, az átmeneti típusnál 30-50, kemény szemű búzánál pedig 50 feletti (50-80). Az átmeneti („mixed”- kevert) típusnak főleg a kereskedelmi tételek esetén van jelentősége. A durum búzák HI értéke a 100-at is meghaladja. A készülék kalibrálása adott keménységű búza felhasználásával (CARL 96 fajta) történik. A kalibrálást a Perten cég szakemberei végzik el.

A mezőgazdasági anyagok vizsgálata során leggyakrabban az erő és a deformáció összefüggését vesszük fel. Az általunk kifejlesztett kvázi statikus mérési eljárás is ezen alapszik. Az a méréseket egy Lloyd 1000 R berendezés segítségével végeztük (3. ábra). A berendezéssel egyszerre csak egy mag vizsgálható, viszont maga a mérés sok mérési adatot, információt hordoz magában. A búzaszemeknél az erő-deformáció összefüggés lényegesen függ attól, hogy a gabonaszemet milyen helyzetben terheljük. A szemek terhelhetők fekvő helyzetben, élükre állítva, továbbá élüket leköszörülve. Mi fekvő helyzetben és élüket leköszörülve álló helyzetben vizsgáltuk meg a szemeket. E célra egy laboratóriumi búzaszem-csiszológépet fejlesztettünk ki, amelyet a 2. ábrán mutatunk be.

is also calculated automatically. The grain hardness is characterized by a value number, namely the Hardness Index (HI). The principle of the operation of the device is shown in **Figure 1.**: the seed lifting device is fed the grains through a balance to a sickle-shaped component, which is connecting with a seed breaking wheel. The resistance of the seed against the compression is measured by the sickle-shaped component coupled with a force measuring cell. The instrument registers the records of the net force.

During the measurement, the device measures the weight of the grains, the size, the moisture content and hardness of the seed. After determining the specific characteristics of 300 seed, it averages the measured values. It is possible to graphically present the measured results in the form of bar graphs. The measurement program provides an opportunity to look back the previous measured results after the measurement of a new sample. The measured results and histograms can be printed on demand. The control software saves the operational factors (such as temperature, pressure) and crushing properties (force, area under the curve). The measured hardness value determined by this device – the Hardness Index (HI) – is not a physically specified reference number, i.e. in extreme cases, there may be zero or negative measured values. These of course are not considered to be correct. The typical HI value at soft wheat grain is 0-30, or 30-50 at intermediate type of grains, in case of hard wheat types it is more than 50 (50-80). The intermediate (mixed) type is especially important in case of commercial materials. The HI of durum wheat may be over 100. Calibration of the device occurs by using a wheat variety (CARL 96 species) which has specific hardness. The calibration is carried out by technical experts of Perten Company.

Most regularly the relationship of the force and the deformation is registered in the examination of agricultural materials. The quasi-static measurement method developed by us is based on this correspondingly. The measurements were done by using a Lloyd 1000 R apparatus (Figure 3). The device can analyse just one seed on the same time, but the measurement itself carries various measurement data. At wheat grain, the force-deformation relationship is significantly depends on the position of the grain. The seed can be pressured on lateral position set to their edge or without edge - which can be removed by a grinding machine. We investigated the seeds horizontally and furthermore at upright position but with smoothed edge. For this purpose, a laboratory wheat grain grinding machine has been developed which is shown in **Figure 2.**

The Young's modulus (E), the amount of work needed for crushing the seed (W_t) and the maximum of this breaking force (F_t) were determined. For result evaluation pair correlation were applied. 30 parallel runs were conducted for each type of samples with this equipment.

The device is based on uniaxial pressure (load test). The tests must be met the following requirements when performing it, that the results can be evaluated properly:

- The compression must be exactly axial, that in this way bending moment will not occur;
- The friction must be kept on the lowest value between the end sheet of the probe body and the compressor plate, that the cross elongation of the probe is not limited
- The length to diameter ratio must be selected carefully that the risk of lean out is not occur

For wheat seed measure, to get slight deformation, small pre-push rate must be applied. During our measurements the pre-push speed was 2 mm/minute. The device measures the pressure force on the wheat seed according the distance moved by the probe head. The software of the instrument records the data generated during measurement and draws a curve in a force-distance coordinate system (x-axis distance in mm and y axis the force in N).

Based on the data we can see immediately the level of force that the grain is no longer able to endure and breaks it. With the zero and the maximum value of the curve, and by the assigned length, the maximum force can be determined which needed to break it, hereinafter referred to as the breaking force. In addition, the work needed for the breaking force – and the deformation modulus is also possible to determine based on the registered curve. The breaking work is related with the area under the curve.

4. Results

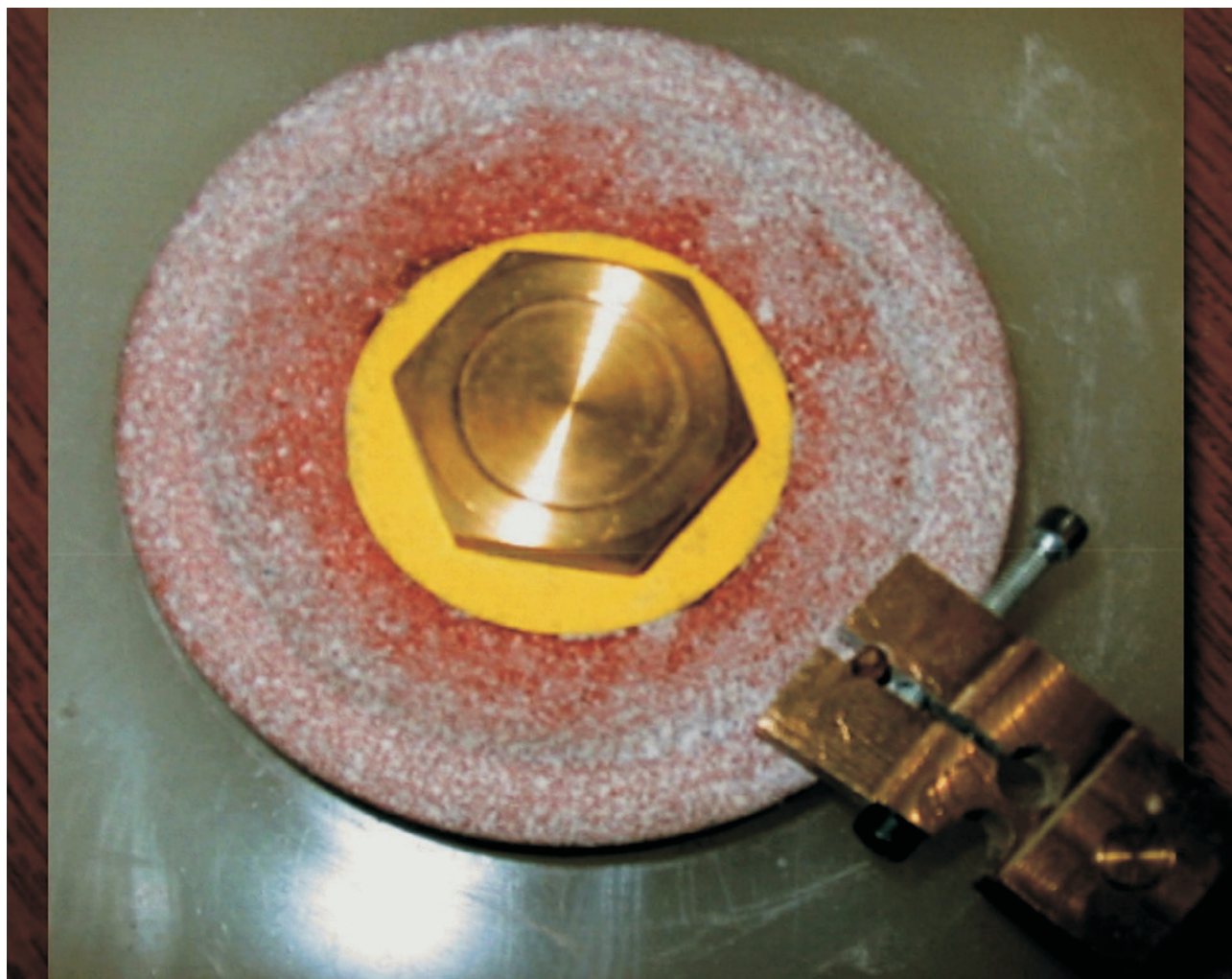
The results of the measurements are given in **Table 1.** The Hardness Index (HI) can be divided into two groups according to the samples. The under-50s are soft and floury varieties, these values were between 20-36, in case of our sample set. The over-50s are the harder varieties, HI values were between 57 and 81. Based on this, four samples were found out as a soft-, and seven turns out to be a hard wheat variety.

The results of the kernel breaking (Lloyd test) can be divided into two groups: results of the vertically and the horizontally positioned wheat seeds. The results of the seed breaking additionally were divided into three parameters: the maximum breaking strength, breaking work, and the Young's modulus of elasticity. **Table 1.** reveals that the modulus values differ from each other convincingly, since it obtained, the seeds in vertical position in case of soft wheat resulted up to 1300 N/mm², while in case of hard-grain structure the wheat varieties showed 1500 up to 2200 N/mm² modulus. When seeds were in horizontal position, the test limit was 100 N/mm². The results can be classified into two groups furthermore, when the breaking force is measured. The soft wheat showed between 123.81 N and 211.21 N, and the wheats with hard grain structure represented breaking force values between 239.46 N and 367.45 N. The breaking force at soft wheat was between 73.47 N and 91.79 N, however in case of hard wheat it was between 103.31 N and 154.78 N. The applied measurement methods in nature principally revealed significant differences, compared to the method for Hardness Index determination. To reveal the relationship between them, pair correlation method was applied, which can be used to investigate the mutual relation of any number of parameters. The relationship of Young's modulus of elasticity (E - N / mm²), the maximum breaking force (F_t - N), the breaking work (W_t - N*mm) and Hardness index are shown in **Figure 4.**

5. Conclusions

According to our aim we looked for the answer, which type of correspondences and correlations are occur between the grain hardness measurement methods (static breaking test and dynamic - Hardness Index) despite their differences in methodology. To answer the above purpose, a correlation matrix was made.

Based on the obtained results, close correlation is revealed between the results of Lloyd 1000 R instrument and calculated parameters (Young's modulus, a maximum



2. ábra: Általunk kifejlesztett búzaszem-csiszológép
 Figure 2.: Wheat grain grinding machine developed by the authors

Meghatároztuk a szemek Young-féle rugalmassági modulusát (E), a töréshez szükséges munkát (W_t) és a maximális törőerőt (F_t). Az eredmények értékeléséhez a páros korreláció módszerét alkalmaztuk. Fajtánként 30 párhuzamos mérést végeztünk a berendezéssel.

A készülék az egytengelyű nyomás (terhelési mód) alapján működik. A kísérletek végzésekor az alábbi követelménynek kell teljesülnie ahhoz, hogy eredményeink értékelhetőek legyenek:

- A terhelésnek pontosan tengelyirányúnak kell lennie, hogy ilyen módon hajlító igénybevétel ne lépjen fel;
- A próbatest véglapja és a nyomólap közötti súrlódást minél kisebb értéken kell tartani, hogy a próbatest keresztirányú nyúlása ne legyen korlátozva;
- Olyan hossz-átmérő viszonyt kell választani, amelynél a kihajlás veszélye még nem áll fenn;

breaking strength, and breaking work) in case of the measurements at two different positions, also between the static and dynamic processes, where just some of the correlations are highlighted at this point. Here are some correlation relationships among the data that we identified:

Correlations related to the static method:

- E (vertical position) and F_t (vertical position) $\rightarrow r = 0,958$;
- E (vertical position) and spring constant (vertical position) $\rightarrow r = 0,986$;
- E (horizontal position) and spring constant (horizontal position) $\rightarrow r = 0,935$;
- F_t (vertical position) and F_t (horizontal position) $\rightarrow r = 0,917$;
- W_t (vertical position) and F_t (horizontal position) $\rightarrow r = 0,924$.

Correlations between the dynamic and quasi-static measurement methods:

- E (vertical position) and HI $\rightarrow r = 0,901$;
- F_t (vertical position) and HI $\rightarrow r = 0,939$.

In summary, it can be assumed that the static measurement methods used for grading the hardness of wheat grain is suitable, as well as it contributing to the spreading of techniques which can measure a single seed.

At our sample set (moisture content: 13.52%) the Hardness Index is closely related to the deformation modulus, to the breaking force and to the breaking work - measured with compression method at vertical position. The deformation modulus with compression method at horizontal position has strong, the braking force has decent correlation with the Hardness Index.

We propose further attempts for the determination of the quasi-static mechanical characteristics with wheat grains in horizontal position. In additional experiment, a test would be beneficial to compare the results of the 4100 SKCS instrument and the Hardness Index data as well. It is assumed these tests with a large number of wheat varieties should to be successful.



A kép illusztráció / The picture is illustration



3. ábra: Lloyd 1000R típusú állománymérő készülék
Figure 3.: Lloyd 1000R type texture analyser instrument

Gabonaszemek vizsgálatakor a csekély deformáció érdekében kis előtolási sebességet kell választani. Méréseink során az alkalmazott előtolási sebesség 2 mm/perc volt.

A készülék a búzaszemet erő nyomóerőt a nyomófej által megtett úthossz függvényében méri. A berendezés szoftvere a mérés közben keletkező adatokat rögzíti, és koordináta rendszerben megrajzolja az erő-elmozdulás görbét (x tengelyen az elmozdulás mm-ben, y tengelyen az erő N-ban).

Az adatok alapján azonnal láthatjuk az erő mértékét, amelyet a gabonaszem már nem képes elviselni, és elroppan. A grafikon nulla és maximális N értékei, valamint a hozzájuk rendelt úthossz függvényében

meghatározható a szem elroppantásához szükséges maximális erő, amelyet a továbbiakban törőerőnek nevezünk. Ezen felül meghatározható a törőerőhöz tartozó törő munka és az erő - elmozdulás görbéből a deformációs modulus is. A törőmunka a készülék által rajzolt görbe alatti területtel arányos.

4. Eredmények

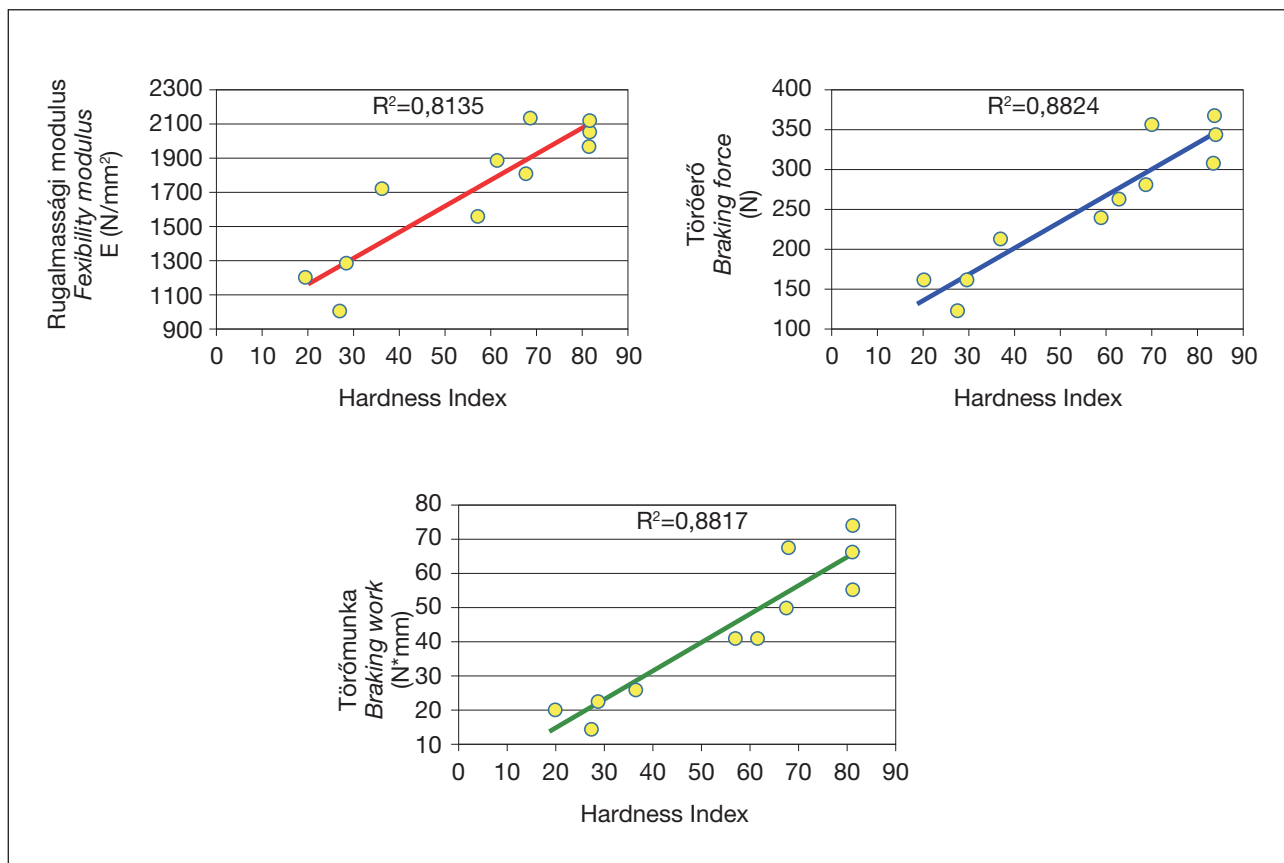
Mérési eredményeinket az **1. táblázatban** foglaltuk össze. A Hardness Index (HI) szerint a minták két csoportba sorolhatóak. Az 50-es alattiak puha lisztes fajták, ezek határa 20-36 között mozgott. Az 50 felettiak pedig a keményebb fajták, HI értékeik 57 és 81 közöttiek. Ezek alapján a minták közül négyet a puhák, hetet pedig a kemény fajták közé sorolhatunk.

1. táblázat: A különböző módszerekkel elvégzett vizsgálatok számított és mért értékei
Table 1.: Counted and measured values of the sample set with different methodologies

A tételek jelölése	Hardness Index (HI) Műszer: Perten SKCS4100	Rugalmassági modulus (N/mm ²)	Maximális törőerő (N)	Törőmunka (N*mm)	Rugalmassági modulus (N/mm ²)		Törőmunka (N*mm)
					Maximális törőerő (N)		
Álló helyzetű mérés				Fekvő helyzetű mérés			
B1	27	1010,99	123,81	14,98	83,76	73,47	9,52
B2	36	1726,72	211,21	26,60	96,81	91,79	12,6
B3	20	1193,70	160,22	20,55	80,15	81,61	11,63
B4	29	1287,68	162,14	23,25	87,84	91,7	18,76
B5	61	1884,78	260,82	41,26	103,86	103,31	10,78
B6	57	1563,73	239,46	41,57	107,75	107,12	11,67
B7	67	1810,62	282,35	50,00	111,43	109,19	12,99
B8	81	2049,02	367,45	74,82	129,2	140,76	12,65
B9	81	2087,37	343,89	66,45	128,51	125,05	11,4
B10	81	1985,99	309,26	55,85	108,69	103,65	14,17
B11	68	2133,84	358,27	68,01	132,39	154,78	22,73

A szemenkénti törés (Lloyd vizsgálat) eredményeit két csoportba osztottuk: állított és fekvő helyzetű búzaszemekre vonatkozó eredményekre. A törési eredményeket ezen túlmenően három paraméterre tagoltuk: maximális törőerőre, törési munkára, valamint a Young-féle rugalmassági modulusra. Az **1. táblázatból** kiolvasható, hogy a rugalmassági modulus-értékek határozottan elkülönülnek egymástól, hiszen az álló helyzetű magvak vizsgálatánál a puha búzák esetében maximum 1300 N/mm² értéket kaptunk, ezzel szemben a kemény szemszerkezetű búzák esetén 1500-tól egészen 2200 N/mm² értékig terjedt a modulus értéke. A magvak fekvő helyzetben történő vizsgálatnál a határ 100 N/mm². A törőerő mérése esetén is két csoportba sorolható eredményeket kaptunk. A puha búzák álló helyzetben 123,81 N és 211,21 N közötti, a kemény szemszerkezetű búzák

pedig 239,46 N és 367,45 N közötti törőerő-értékeket adtak. A törőértékre fekvő helyzetű, puha szerkezetű búzáknál 73,47 N és 91,79 N, ugyanakkor a kemény szemszerkezetű búzák esetében s 103,31 N és 154,78 N közötti értékeket kaptunk. Az általunk alkalmazott mérési módszerek jellegükben is és a mérés alapjában is jelentős eltéréseket mutatnak a Hardness Index megállapítását célzó módszerhez képest. A köztük lévő összefüggés vizsgálatára páros korreláció számítás módszerét használtuk, amellyel tetszőlegesen sok vizsgált paraméter egymás közötti, kölcsönös összefüggését lehet kimutatni. A Young-féle rugalmassági modulus ($E - N/mm^2$) maximális törőerő ($F_t - N$), a törő munka ($W_t - N*mm$) és a Hardness Index összefüggéseit a **4. ábrán** mutatjuk be.



4. ábra: A Deformációs modulus ($E - N/mm^2$), a törőerő ($F_t - N$), valamint a törőmunka ($W_t - N*mm$) és a Hardness Index kapcsolata függőleges helyzetű magvak esetén (nedvességtartalom: 13,52% volt)

Figure 4.: Correlations between the deformation modulus ($E - N/mm^2$), breaking force ($F_t - N$), breaking work ($W_t - N*mm$) and Hardness Index in case of seeds at vertical position (moisture content: 13,52 %)

5. Következtetések

Vizsgálati célkitűzéseinknek megfelelően arra kerestük a választ, hogy a szemkeménység-mérő módszerek (statikus törési teszt, illetve dinamikus – Hardness Index) milyen egyezőséget mutatnak, összefüggnek-e, a módszertani különbözőségük ellenére. A fenti célkitűzés megválaszolására korrelációmátrixot készítettünk.

A kapott eredmények alapján megállapítottuk, hogy szoros korreláció mutatható ki a Llyod 1000 R állományvizsgálóval történő mérések esetén a mért és számított paraméterek (Young-féle rugalmassági modulus, maximális törőerő, törőmunka) között a két pozícióban történő mérések esetén, valamint a statikus és a dinamikus eljárás között, amelyek közül csak néhányat emeltünk ki. Íme, néhány korrelációs összefüggés az általunk meghatározott adatok közül:

Korrelációk a statikus eljárásra vonatkozóan:

- E (álló helyzetben) és F_t (álló helyzetben) $\rightarrow r = 0,958$;
- E (álló helyzetben) és a rugóállandó (álló helyzetben) $\rightarrow r = 0,986$;
- E (fekvő helyzetben) és rugóállandó (fekvő helyzetben) $\rightarrow r = 0,935$;
- F_t (álló helyzetben) és a F_t (fekvő helyzetben) $\rightarrow r = 0,917$;
- W_t (álló helyzetben) és F_t (fekvő helyzetben) $\rightarrow r = 0,924$.

Korrelációk a dinamikus és a kvázi statikus mérési eljárások között:

- E (álló helyzetben) és HI $\rightarrow r = 0,901$;
- F_t (álló helyzetben) és HI $\rightarrow r = 0,939$.

Összefoglalásként elmondható, hogy az általunk alkalmazott statikus mérési eljárás alkalmas a búzák keménység szerinti osztályozására, valamint hozzájárul az egy búzaszemből végzett mérések technikájának térhódításához.

A mintasornál (nedvességtartalom: 13,52%) a Hardness Index szoros kapcsolatban áll a szemek függőleges helyzetében kompressziós eljárással mért deformációs modulussal, a törőerővel és a törő munkával. A szemek vízszintes helyzetében történő kompressziós eljárással mért deformációs modulusa szoros, a törőerő pedig elfogadható a kapcsolatban áll a Hardness Indexszel.

További kísérleteket javasolunk a búzaszemek vízszintes helyzetében, kvázi-statisztikus kompressziós eljárással történő vizsgálata mechanikai jellemzőinek meghatározására. Egy másik kísérletben pedig célszerű lenne az így kapott vizsgálati eredményeket összevetni az SKCS 4100 típusú mérőműszerrel végzett vizsgálatok Hardness Index adataival is. Feltételezhető, hogy különböző búzafajtákkal és nagyszámú mintahalmazokkal végzett kísérletek eredményesek lehetnek.

6. Irodalom

- [1] Mattern, P.J., Morris, R., Schmidt, J.W., Johnson, V.A. (1973): Location of Genes for Kernel Properties in Wheat Cultivar 'Cheyenne' Using Chromosome Substitution Lines. p. 703–707. In E.R. Sears and L.M.S. Sears (ed.) Proc. of the 4th Int. Wheat Genetics Symp., Colombia, MO. 1–6 Aug. 1973. Agric. Exp. Stn., Univ. of Missouri, Columbia, MO.
- [2] Morrison, W.R., Law, C.N., Wylie, L.J., Coventry, A.M., Seekings, J. (1989): The Effect of Group 5 Chromosomes on the Free Polar Lipids and Bread Making Quality of Wheat. *J. Cereal Sci.* 9:41-51
- [3] Law, C.N., Young, C.F., Brown, J.W.S., Snape, J.W., Worland, A.J. (1978): The Study of Grain-protein Control in Wheat Using Whole Chromosome Substitution Lines. In: Seed Protein Improvement by Nuclear Techniques Int Atomic Energy Agency, Vienna p. 483-502
- [4] Oda, S., Komae, K., Yasui, T. (1992): Relation Between Starch Granule Protein and Endosperm Softness in Japanese Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars. *Jpn.J. Breed.* 42 p. 161-165
- [5] Morris, C.F., Greenblatt, G.A., Bettge, A.D., Malkawi, H.I. (1994): Isolation and Characterization of Multiple Forms of Friabilin. *J. Cereal Sci.* 21 p.167-174
- [6] Bettge, A.D., Morris, C.F., Greenblatt, G.K. (1995): Assessing Genotypic Softness in Single Wheat Kernel Using Starch Granule-associated Friabilin as a Biochemical Marker. *Euphytica* 86 p. 65-72
- [7] Greenblatt, G.A., Bettge, A.D., Morris, C.F. (1994): Relationship Between Endosperm Texture and the Occurrence of Friabilin and Bound Polar Proteins. *Cereal Chem* 72(2) p.172-176
- [8] Rakszegi, M., Láng, Z., Juhász, A., Bedő, Z. (2002): Egyes technológiai tulajdonságok és a szem endospermium szerkezetének változása eltérő generációkban a búzánál (*Triticum aestivum* L.), *Növénytermelés* 51 p. 627-637
- [9] Greenwell P., Schofield, J.D. (1986): A Starch Granule Protein Associated with Endosperm Softness in Wheat *Cereal Chem* 63 p. 379-380
- [10] Shaw, G.W, Gaumnitz, A.J. (1911): Californian White Wheats. *Bull. Calif. Agric. Exp. Stn.* 212 p. 315-394
- [11] Chung, C.J. (1972): A Development of New Technique for Measuring Wheat Hardness *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 14 p. 9-20
- [12] Fowler, D.B., De La Roche, I.A. (1975): Wheat Quality Evaluation. II Relationships Among Prediction Tests. *Can. J. Plant Sci.* 55 p. 251-262
- [13] Stenvert, N.L. (1974): Grinding Resistance, a Simple Measure of Wheat Hardness. *Flour Anim. Feed Milling* 156 p. 24-25, 27
- [14] Williams, P.C., Sobering, D.C. (1988): Influence of Moisture on Testing Hardness in Wheat. (Abstr. 239) *Cereal Foods World* 33 p. 696
- [15] Pomeranz, Y., Williams, P.C. (1990): Wheat Hardness: its Genetic, Structural and Biochemical Background, Measurements and Significance. In: *Advances in Cereal Science and Technology*, AACC, St. Paul, Vol. X p. 471-544

Summary

The kernel hardness is one of the most important parameter of wheat. It depends on the relation between protein matrix and starch granules. In the present experiments the kernel hardness of winter wheat varieties were examined with Lloyd 1000 R Testing Machines and the aim is to demonstrate a new static test. We examined the wheat kernel in two position (vertical and horizontal position) standing and prone). We determine the Young's modulus, the break work and the maximum breaking force. We compare the results with other methods (Perten SKCS 4100 device). We use twin correlation to determine the relationship among the results. There was strong correlation among the Hardness Index and the Young's modulus, the break work and the maximum breaking force in vertical position.



A kép illusztráció / The picture is illustration