

NÖVÉNYOLAJPRÉS KONSTRUKCIÓS FOLYAMATÁNAK ALÁTÁMASZTÁSA A HŐTANI FOLYAMATOK DEM ANALÍZISÉVEL

USING DEM SIMULATION OF VEGETABLE OIL PRESS THERMAL PROCESSES TO SUPPORT CONSTRUCTION PROCESS

Földesi Bernát, Rádics János Péter, Tamás Kornél, Jóri J. István
BME, Gép- és Terméktervezés Tanszék, H-1111 Budapest, Bertalan Lajos u. 1.

ÖSSZEFOGLALÁS

A növényolaj-préselés egy nagyon energiaigényes folyamat. Az üzem közben felhasznált energia jelentős része hőenergiává alakul át. A préselendő anyag jelentős hőterhelésnek van kitéve, ami hatással lehet a folyamat során kinyert növényi olaj minőségére. Az üzem közben kialakuló hőviszonyok minél pontosabb meghatározása, és a hátrányos kialakítások felismerése elengedhetetlenül fontos már a tervezési folyamat során, hogy a kedvezőtlen megoldások elkerülhetőek legyenek. A diszkrét elemes vizsgálat (DEM) segítségével lehetséges a préselés során lejátszódó folyamatokat vizsgálata. Így a számított eredmények segítségével jól közelíthetőek a kialakult mechanikai és a hőtani állapotok, így a tervezés első lépcsőjében információt kaphatunk a préselés minőségéről.

ABSTRACT

Oil extraction is an energy consuming process. During this process part of the energy is transformed into thermal energy. The heat load of the material is able to modify the quality of the plant oil. It is very important to determine thermal relations as much as possible, to recognize the disadvantageous constructions during the construction process. Using discrete element method it is possible to examine the mechanical and thermal relations in the first stage of the development, so it will be possible to pre-indicate the quality of oil pressing.

1. BEVEZETÉS

Csigás prések esetén a hőmérséklet szempontjából alapvetően két eljárást különböztetünk meg; a hideg és meleg üzemű préselést. A hideg üzemű préselés során az olajos magok tisztaságán túl nincs szükség különösebb előkészítésre. Az eljárás előnye a tapasztalatok szerint, hogy jó minőségű, a repce esetén alacsony fosz-

fortartalmú olaj állítható elő, amely további feldolgozás nélkül alkalmas a biodízel gyártásra. Ha préselés során túl magas hőmérsékletre hevül fel az olaj, akkor a kialakult magas foszfortartalom miatt bioüzemanyag célú felhasználás esetén utókezelés szükséges. A különböző présgeometriák kialakításánál a konstrukciós folyamat részeként olyan szimulációs eljárásokra lenne szükség, amellyel a kedvezőtlen kialakítási változatok kiszűrhetőek, és elkerülhető a prototípusok utólagos módosítása. A TÁMOP projekt keretében indult kutatásunkban vizsgáljuk annak a lehetőségét, hogy a milyen módszerekkel lehetséges a préselés rendkívül összetett folyamatába betekintést nyerni és a konstrukciós folyamat során előre jelezni a különböző geometriai kialakítások eredményeként létrejövő nyomás és hőtani viszonyokat.

2. A VIZSGÁLATOK KÖRÜLMÉNYEI ÉS MÓDSZEREI

2.1. DEM

A magokból álló anyagalmaz viselkedésének szimulálására a legalkalmasabb vizsgálati módszer a diszkrét elemes vizsgálat (DEM), amelyet [Cundall 1971] fejlesztett ki. A vizsgálatok során, a gömb alakú, elemi részecskékből álló anyagalmazok viselkedését úgy modelleztük, hogy tulajdonságaik hasonlóak legyenek a kohézív valós anyaghoz.

2.2. A prés szimulációja

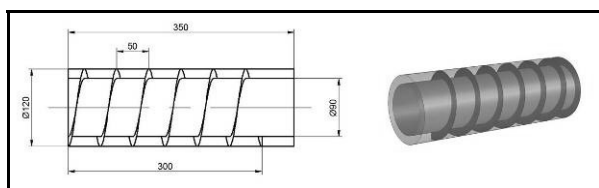
A vizsgálatok során egy kereskedelmi forgalomban kapható növényolaj présben létrejövő folyamatokat modelleztük. A kész konstrukció kiválasztásának célja a későbbi mérésekkel alátámasztott validálás lehetősége volt. A vizsgált csigás prés összetett geometriával rendelkezik. A tengelyen három különböző geometriájú és ebből eredően különböző funkciójú csiga helyezkedik el. Ezek a bevezető, előtömörítő és főcsiga. Feladatuk a magok fokozatos tömörítése és a nyomás növelése. A

csigák után egy beállítható méretű, szűk nyíláson keresztül távozik a szilárd anyag. Az olaj az előtömörítő csiga végétől a főcsiga végéig tartó préskosáron keresztül szívárog ki.

A szimuláció szempontjából fontos megkülönböztetni azokat a szakaszokat melyeknél az eredeti magok geometriája már jelentősen deformálódik, illetve megváltozik. [Cundall, Hart 1992]. A présben lévő magok deformáltságára elsősorban a prés geometriai kialakítása alapján következtethetünk. Ahol a mag mérete miatt már nem tudna tovább haladni, ott már szétpréselt magról beszélünk. Ebben a szimulációban egy magot egy gömb alakú részecske helyettesít, így a préselt vagy erősen deformált fázis szimulációja nem lehetséges ezzel az anyagmodellel. [Donzé 1999]

A szimulációs vizsgálat alapvetően szakaszos felépítésű. Az egyszerű geometriai elemekből felépített modelltől halad az egyre bonyolultabb felépítésűig. Mindezt az indokolja, hogy megbizonyosodjunk a szimulációs eredmények valószerűségéről, helyességéről és az egyes jelenségeket minél egyszerűbb és átláthatóbb környezetben vizsgálhassuk. A modellek fejlesztése során az új funkciók beállítása és újabb adatok lekérdezése komplex programozási feladatot jelentenek. A programozott funkciók valószerűségének ellenőrzése csak lépcsőzetes fejlesztés mellett biztosítható.

2.3. Az első modell



1. ábra. Az első szimuláció modellje

Az első szimulációs modell egyszerű, egy szakaszból álló csigás geometria, mely tartalmazza a tengely és a burkolat felületmodelljeit, továbbá a két végen található zárólapokat és magát a csavarfelületet. A kialakított geometria méretei közelítenek a valóságos prés bevezető szakaszának méreteihez. A magokat szimuláló gömb alakú részecskék mérete annak megfelelően lett megválasztva, hogy a tengely és a burkolat között sugár irányba legalább kettő darab el tudjon helyezkedni. [Bojtár, I., and K. Bagi 1989] Ugyanakkor méretük a préselésnél felhasznált magok méretéhez közeli. Így viszonylag alacsony elemszám mellett, de mégis kielégítő pontossággal lehetett lefuttatni a szimulációt. A részecskék méretéből adódóan nem szükséges a csavarfelület külső átmérője és a burkolat átmérője közötti különbség kialakítása. A préselés során az anyagáramra a legnagyobb ellenállást a prés végén található rés jelenti. Ez a magok áramlásával ellenirányú nyomást fejt ki. [Ugural, A. C., and S. K. Fenster 1987] A nyomást ebben az egyszerű modellben egy statikus zárólap által kifejtett ellenállás helyettesíti. Hogy a véglap és a csavarfelület

érintkezésénél ne alakuljanak ki valótlan csúcsertékek, azok között egy kisebb szakasz lett kialakítva.

A felületmodell részecskékkal való feltöltése a programban használatos téglatest alapú generálási módszerrel történt. Ennél a generálási módszernél a paramérektől függően korlátozott az egyszerre létrehozott számú elem, mivel nem megengedett az azok közötti átfedés. Azon elemek amelyek nem a tengely és a burkolat felületei között helyezkedtek el törlésre kerültek. Gravitációs ülepítések után a generálás többször is megtörtént, de a módszer alapvetően csak részleges feltöltésre alkalmas.

A szimulációs vizsgálat célja a tengely- és a csavarfelület megforgatása révén kialakult nyomás és feszültségviszonyok lekérdezése. Továbbá a sűrűdésből időegységenként keletkezett hőmennyiség meghatározása.

A falfelületre kifejtett nyomás értéke az azzal érintkező elemek által kifejtett normálerők összességéből számítható. A szimulációs program minden egyes számítási körben megvizsgálja az összes érintkező kapcsolatot és kiválasztja azokat, amelyek a kiválasztott felületrésszel érintkeznek. Majd a felületeket összenyomó erő alapján lekérdezhetőek a normálerők. Ezek összegzése után azokat osztva a kiválasztott felület nagyságával számítható az adott szakaszra ható nyomás. A burkolatra ható nyomásértékek meghatározása, a hossz tengely mentén szakaszokra osztott felületrészek átlagos értékei alapján történt, hogy a hosszanti nyomáeloszlás jellegét meghatározzuk. Mivel ezen mennyiségek időben ingadozóak, ezért 5000 szimulációs körben lekérdezett adatok átlaga alapján kerültek meghatározásra.

A jobb rálátás érdekében 4 különböző időpillanatban kerültek lekérdezésre az egyes burkolat-szakaszokhoz tartozó adatok, ahol az egyes időpillanatok között lefutott számítási körök száma nem összemérhető az átlagoláshoz szükséges körök számával.

2.4. A második modell

A második szimulációs modell a folyamatos anyagáram létrejöttét hivatott szimulálni. Míg az előző modellnél egy statikus véglap fejtett ki ellenállást az anyagra, itt már egy konstans ellenállással ható dinamikus fal van definiálva, más néven szervo-fal. Ennek a síklapnak a feladata, hogy biztosítsa az anyag áramlását, ugyanakkor állandó nyomást fejtsen ki arra. Mivel a szoftver csak a fal-elemek sebesség-komponenseinek a beállítását teszi lehetővé, ezért komplex parancssor írja le a viselkedését. Alapvetően a falra ható normálerők összessége és a kívánt ellenállásérték alapján kerül kiszámításra az aktuális sebességváltozás. A szervo-fal aktiválása után közel állandó nyomást fejt ki az anyagra. Hogy a szervo-fal elmozdulásakor ne szakadjon meg a kapcsolat a tengely és a burkolat felületeivel, ezért azok meghosszabbításra kerültek.

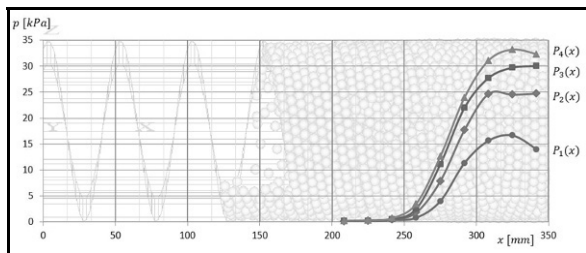
Ez a modell lehetőséget ad az állandósult anyagáram mellett kialakult állapotok vizsgálatára. Az előző modellnél lekérdezett adatokon túl ez esetben a térfogatáram is meg-

határozható. A szimulált értékek szerint a szervo-fal átlagos sebessége $v_{sw} = 5.7 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$, ami az adott geometriai méretek esetében $\dot{V} = 28.2 \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$ térfogatáramot jelent. Mivel a szervo-fal egy másodperc alatt megtett távolsága alig több mint 1%-a a geometriai modell hosszmeretének, azt közel statikusnak tekinthetjük. Ez alapján következtethető, hogy nagy hasonlóság áll fent az előző szimulációs modellnél számított értékekkel.

3. EREDMÉNYEK

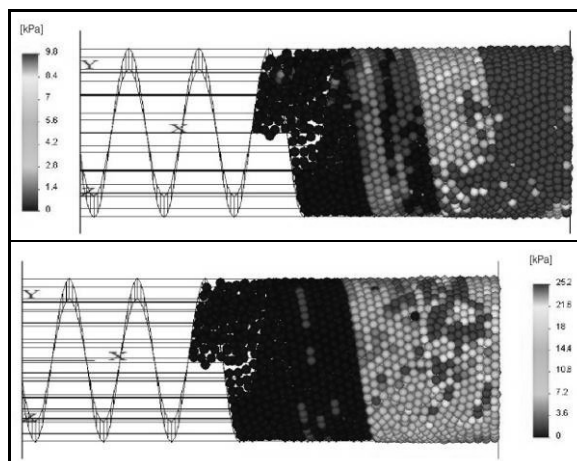
3.1. Az első szimuláció eredményei

A csiga vége felé haladva, csupán az utolsó menet elejénél kezdődik meg a nyomás rohamos növekedése, majd ez a növekedés folytatódik a menet végéig. A csigasor és a zárólap közötti térrészben a vártakkal ellentétben nem teljesen egyenletes nyomás alakul ki, hanem az utolsó menet végénél kialakult nyomásérték körül ingadozó hossz menti eloszlást tapasztalunk. Ugyanakkor ez az ingadozás megfelelően kicsi ahhoz, hogy konstans eloszlással közelíthessük.



2. ábra. Az átlagos nyomásértékek hosszirányú eloszlása különböző időpillanatokban

A présmodell végén, viszonylag elhatároltan jelentkező magas nyomás, elsősorban az anyaghalmoz természetével magyarázható. A folyékony halmazállapotú anyagok esetében a hossz menti eloszlás sokkal egyenletesebb, mivel nyomásközvetítő tulajdonságuk jobb. Továbbá a csiga és a burkolat közötti hézagnál esetlegesen kialakuló résáram idézi elő az egyenletesebb nyomáseloszlást. A hossz menti nyomáseloszlás alapján egyértelművé válik, hogy a csiga utolsó menete és az azután következő szakasz a leginkább terhelt és valószínűleg a folyamat során keletkezett hőmennyiség nagy része is oda koncentrálódik. Ugyanakkor látható, hogy az összetömörödött anyagmennyiség csupán az utolsó három menetet tölti ki. Ez megkérdőjelezheti a számított viszonyok jellegének teljesen telített csigára való levétítését, de mivel a nyomásesés nagyon meredek és az utolsó menet szakasza alatt nagyságrendeket változik az értéke, biztonsággal kijelenthetjük, hogy telített csigában is hasonló karakterisztikájú hossz menti nyomáseloszlást tapasztalunk.



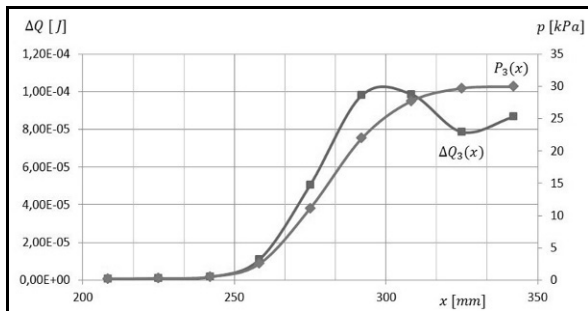
2. ábra. von Mises féle feszültség az anyaghalmozban

A présben kialakult viszonyok jobb megismerése végett a szemcsék egyenértékű feszültsége is megjelenítésre került. A szoftverben nem áll rendelkezésre előre beprogramozott egyenértékű feszültségszámítási eljárás. Ezért a von Mises féle egyenértékű feszültséget a feszültségi mátrix komponenseiből kell a számítási körökben kiszámítani és a kapott értékek szerint színezniz az elemeket.

Az különböző skálázású ábrák a modell oldalnézetéhez képest „x” tengely körül 135° -al való elforgatott nézetét mutatja. Ebben a helyzetben jól láthatóak a csiga végénél kialakult feszültségviszonyok. A feszültségértékek jól tükrözik a hosszanti nyomáseloszlás jellegét. A magasabb nyomású szakaszokon magasabb értékeket mutat a színskála. Ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy az utolsó csigamenet két oldalán jelentős különbség alakul ki és a viszonylag éles átmenet jól beazonosítható. Ezzel is alátámasztva az első menet teherviselő szerepét. Ez alapján következtethetünk a csiga ezen szakaszán jelentkező fokozott koptató hatásra is, ami egy csigás konstrukció kialakításakor indokolhatja a szakasz cserélhetőségét. Az ábrán előfordulnak egymás mellett elhelyezkedő, de értékeikben mégis jelentősen különböző elemek. Ez a hiba alapvetően a deformálhatatlan és viszonylag nagy méretű gömb alakból ered, mivel így kialakulhatnak olyan elrendeződések, ahol a terhelésátadás megkerülhet egyes elemeket. A kialakult feszültségviszonyok utalnak a hőképződés eloszlására is. A hőmérsékleti viszonyok alakulásának szimulálására a legmegfelelőbb mód az volna, ha egy állandósult anyagáram mellett szimulálnánk a sűrűdésből keletkezett hőfejlődést, annak az elemek hőmérsékletére gyakorolt hatását és az elemek közötti hővezetés következtében kialakult állandósult hőmérsékleti viszonyokat. De jelen modell esetében nem beszélhetünk anyagáramról, ezért értelmetlen volna a hőmérsékleteket vizsgálni. Tehát a sűrűdésből képződő hőmennyiség képezi a további vizsgálat tárgyát. Egy elem által létrehozott többlet hőmennyiség meghatározása egy számítási körben az elem érintkező kapcsolatainál keletkező sűrűdési energia lekérdezésén alapul. Ezt a szoftver automatikusan kiszámítja; az érintkező elemeket össze-

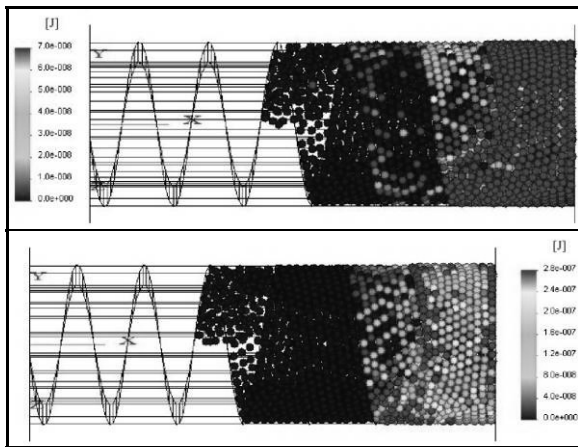
szorító erő, az egymáshoz viszonyított elmozdulás és a sűrűlési együttható alapján. Feltételezve hogy a keletkezett energia fele-fele arányban növeli a két érintkező elem hőjét, minden egyes részecske sűrűlése által létrehozott hőtübblet annak érintkező kapcsolatai által fejlesztett hőmennyiségek felével egyenlő. Ez a hőtani modell nagyon egyszerű, de jelen szimuláció esetében nem indokolt pontosabb szimulációs modell létrehozása.

A fejlődő hőmennyiség hosszanti eloszlásának ábrázolásához az adott modell-szakaszban körönként képződő teljes hőmennyiség-értékek kerültek meghatározásra. A nyomásértékek megállapításához hasonlóan, itt is 5000 szimulációs kör eredményeinek átlaga alapján kaptuk az eredményeket.



3. ábra. A nyomás és a hőfejlődés hosszirányú eloszlása

A közös grafikonon jól látható, hogy míg a nyomás a csigásor és a zárólap közötti térrészben éri el maximumát, addig a körönként keletkező hőmennyiség az utolsó menet végénél a legnagyobb. A csigát követő szakaszon ez az érték visszaesik, majd a zárófalhoz közeledve újra növekedésbe kezd. Ez azzal magyarázható, hogy a legintenzívebb hőfejlődés a nagy nyomású térrészben a falelemekkel való sűrűlés következtében jön létre. Itt mivel egy forgó csavarfelület felel az anyagmennyiség komprimálásáért, várhatóan annak felülete mentén keletkezik a legtöbb sűrűlésből eredő hő. Ezen elképzelés alátámasztására meg kell vizsgálni a részecskék szerinti hőképződés eloszlását.



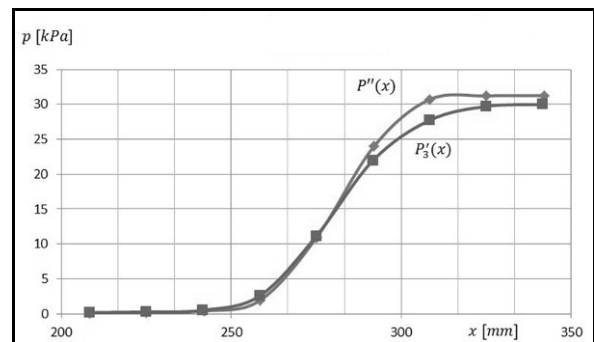
4. ábra. A sűrűlésből származó hő hosszirányú eloszlása

Az ábrákon az egyes elemek az általuk egy szimulációs kör alatt létrehozott hőtübblet alapján lettek színezve, két különböző skálázás alapján. A színezés jól tükrözi a hossz menti hőfejlődés eloszlását. Látható, hogy a legintenzívebb hőfejlődés valóban az utolsó menet és a zárólap falánál megy végbe.

Továbbá a feszültségeloszlást mutató ábrához hasonlóan kivethető az éles átmenet az utolsó csigamenet által elhatárolt részek között. Sőt ebben az esetben láthatóan nagyobb a különbség, ami alátámasztja az arányaiban meredekebb változást.

3.2. A második szimuláció eredményei

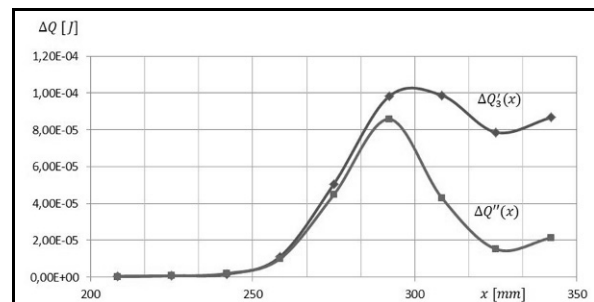
A két szimulációs modellnél lekérdezett hossz menti nyomásadatok összehasonlítása végett azok egy grafikonon kerültek ábrázolásra.



5. ábra. A hosszirányú nyomáseloszlás a két szimuláció esetében

Látható, hogy a hasonlósággal kapcsolatos feltételezés helytálló, mivel közel azonos eloszlás rajzolódott ki. A második modell grafikonján valamivel magasabb nyomásértékek szerepelnek. Viszont a szimuláció pontatlanságát figyelembe véve nem lehet megalapozott következtetéseket levonni.

A hőképződések karakterisztikájának összehasonlítására az előbbi grafikonhoz hasonlóan a két szimulációból lekérdezett értékpárok kerültek ábrázolásra.

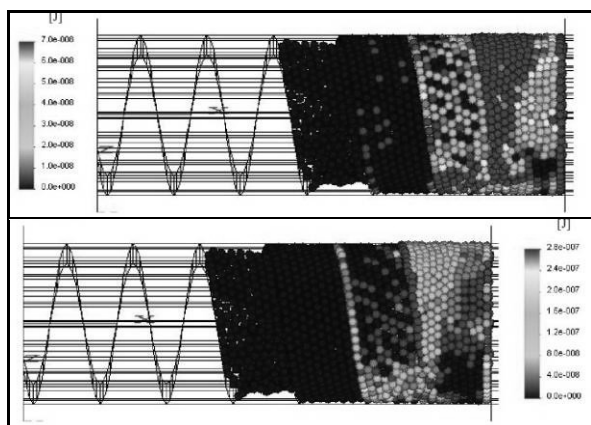


6. ábra. A hosszirányú hőeloszlás a két szimuláció esetében

A jellegük hasonló maradt, de nagy különbség látható az adatok között. Így már nem tekinthető helytállónak a

két modell hasonlóságát feltételező megállapítás. A második szimulációnál kapott értékek már az utolsó menet vége előtt elérik a maximumukat és innentől a kezdeti emelkedés meredekségével csökkenni kezdenek. A csigavég és a zárólap közötti térrészben jelentősen visszaesik a hőfejlődés. Sokkal nagyobb mértékben, mint azt az előző modellnél lehetett tapasztalni. Ugyanakkor a zárófalhoz közeledve ebben az esetben is ismételt növekedés tapasztalható. Az utolsó menettől kialakult jelentős különbség a szimulációs modellek sajátosságaiból adódik. Az első modellnél a részecskék a statikus zárólap miatt a csavarfelület által közvetített mozgási energiát nem tudták a saját mozgási energiájuk növelésére fordítani, így az szükségszerűen hőenergiává alakult a súrlódás következtében. Viszont a második modell esetében a dinamikus zárófal már lehetőséget adott a részecskék mozgási energiájának a növekedésére, így kevesebb energia alakult hővé.

A következő ábrák a hőfejlődés eloszlását mutatják az előző modellnél készített ábrákhoz hasonlóan. A két színskála megegyezik az előző képpár skálájával. Az ábrák jól tükrözik a hossz menti hőképződés eloszlásának a grafikonját.



8. ábra. A súrlódásból származó hőmennyiség

Egyértelműen kivehető, hogy a csúcserőterek az utolsó menet falánál és a zárófalnál jelentkeznek. Továbbá az előző eloszlást mutató ábránál az utolsó menettől észrevehető éles elkülönülés itt már más értelmet nyer, mivel nem a csiga-vég és a zárófal közötti térrészben jelentkeznek a magas értékek, hanem sokkal inkább az utolsó menet terheltebb felülete mentén és annak környezetében.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az egyszerűsített prés-geometriával végzett diszkrét elemes szimulációk során sikerült meghatározni a préselésnél lejátszódó alapvető jelenségek jellemzőit. A hossz menti nyomáseloszlás vizsgálata során kiderült, hogy a nyomás az utolsó menettől ugrásszerű emelke-

désbe kezd és a legmagasabb értékek a csiga végénél és az azt követő térrészben alakulnak ki.

A súrlódásból keletkező hő eloszlása pedig az utolsó menet fala mentén a legintenzívebb. Továbbá megállapítható, hogy a kialakult térfogatáram mellett a csiga utáni térrészben a hőfejlődés visszaesik.

A megismert jellemzők jó alapot szolgáltatnak a szimulációs modell továbbfejlesztésére, hogy minél előrehaladottabb programsorokkal lehessen a valós présgéphez hasonló modelleket készíteni.

Az elvégzett szimulációk eredményei csak a folyamatok jellegére mutatnak rá, mivel a használt anyagmodell még pontosításra szorul.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az ÚMFT TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.

A szerzők köszönetüket fejezik ki a szoftveres támogatásért a BME Tartószerkezetek Mechanikája, és az OKB-1 olajprés rendelkezésre bocsájtsáért a Seed-Imex Kft-nek.

6. IRODALOM

- [1] BOJTÁR, I., AND K. BAGI (1989) "Analysis of the Satake- and Cundall-Parameters of Granular Material sin Non-Linear State-Changing Processes," in *Powders and Grains*, pp. 275-278. J.
- [2] CUNDALL, P.A., AND D.H. HART (1992) "Numerical modelling of discontinua", *Engineering computations*, Vol. 9, pp.101-13.
- [3] CUNDALL, P. A. "A Computer Model for Simulating Progressive Large Scale Movements in Blocky Rock Systems," in *Proceedings of the Symposium of the International Society for Rock Mechanics (Nancy, France, 1971)*, Vol. 1, Paper No. II-8 (1971).
- [4] DONZÉ, F.V., S.-A. MAGNIER, L. DAUDEVILLE, C. MARIOTTI AND L. DAVENNE (1999) – Study of the behavior of concrete at high strain rate compressions by a discrete element method, *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 125 (10), pp 1154-1163.
- [5] UGURAL, A. C., AND S. K. FENSTER. *Advanced Strength and Applied Elasticity*, Second SI Edition. New York: Elsevier Science Publishing Co. Inc., 1987.