

Bakos István

**Az acél szélesszalag hideghengerlés fejlesztése
alapvető technológiai paraméterek
optimalizálásával és termelésirányítási rendszerfejlesztéssel**

Doktori értekezés

Témavezető: ***Dr. Voith Márton DSc***

Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák
Doktori Iskola

A doktori iskola vezetője: ***Dr. Károly Gyula DSc***

**MISKOLC
2002**

TARTALOMJEGYZÉK

Bevezetés	3
1. Szakirodalmi áttekintés	7
<i>1.1 A hengerrés alakjának vizsgálata</i>	<i>7</i>
<i>1.2 A sík szalagkifekvés feltételét kielégítő hideghengerlési technológia</i>	<i>10</i>
<i>1.3 A szélesszalagok hideghengerlési technológiájának optimalizálása</i>	<i>12</i>
<i>1.4 A hideghengerlés gyártásszervezési környezete és lehetséges fejlesztési irányai</i>	<i>16</i>
2. A hideghengerlési technológia optimalizálási lehetőségei	20
<i>2.1. Az acél szélesszalagok hideghengerlési technológiájának interaktív tervezése</i>	<i>20</i>
2.1.1 A hengerlési munkapont megválasztása, a hideghengerlés karakterisztika diagramja	21
2.1.2 Üzemi kísérleti hengerlések	27
2.1.3 Számítógéppel optimalizált technológiák	31
2.1.4 A technológiai és a gépészeti paraméterek kapcsolata	45
<i>2.2 Többfázisú hengerlés technológiájának racionalizálása a közbenső lágyítás helyének megválasztásával</i>	<i>49</i>
2.2.1 A matematikai modell leírása	50
2.2.2 A modell alkalmazásának bemutatása	54
2.2.3 Futtatások eredményeinek kiértékelése	56

3.	Moduláris felépítésű egyedi termelésirányítási rendszer fejlesztésének gazdaságossági hatásai	63
3.1	<i>A javasolt termelésirányítási rendszer felépítése és funkciói</i>	67
3.1.1	Adatbázis tervek	73
3.1.1.1	Alapanyag norma adatbázis	74
3.1.1.2	Gyártási időnorma adatbázis	75
3.1.1.3	Átbocsátó képesség normák adatbázisa	76
3.1.1.4	Termék nyereségfedezeti adatbázis	78
3.1.1.5	Technológiai adatbázis	81
3.1.2	Algoritmus tervek	83
3.1.2.1	Durva programozás	84
3.1.2.2	Finom programozás	85
3.1.2.3	Termeléskövetés	86
3.2	<i>A rendszerfejlesztés költségcsökkentési hatásainak vizsgálata</i>	87
3.2.1	Készletszintek csökkenése	88
3.2.2	Határidő biztonság növekedése	91
3.2.3	Kapacitás kihasználás növekedése	93
3.3	<i>A termelésirányítási rendszer fejlesztésével elérhető optimalizálási lehetőségek</i>	97
	Összefoglalás	105
	Mellékletek	

Bevezetés

A kohászatban az elmúlt évtizedben alapvető változások mentek végbe.

A technikai-, technológiai váltással párhuzamosan soha nem látott mértékű tőke és piac koncentráció indult meg. Az átalakulás világviszonylatban - más ipari ágazatokhoz képest több vonatkozásban is - érzékenyebben érintette a kohászati vállalatokat. A műszaki fejlesztések tőkeigényessége, más ágazatok gyorsabb megtérülési rátái versenyhátrányt jelentettek a kohászat számára.

Magyarországon a csődinduktorok a rendszerváltás időszakában (1989-1993.) fejtették ki legerőteljesebben gazdaságromboló hatásukat (infláció, piacvesztés, erőforrás elavulás, vezetési problémák, stb.) amelyek – fokozva a versenyhátrányt – többek között a kohászati ágazat pozícióit tovább rontották.

Az alkalmazkodóbb, életképesebb vállalatok részben vagy egészben túléltek a válságot, stabilizálták működésüket és meghatározó szerepet töltenek be ma is a térségükben lakók életszínvonalának megőrzésében, növekedésében (pl. Dunaújváros, Székesfehérvár, Inota, stb.)

Létfontosságú tehát a működő kohászati mikrogazdasági rendszerek jövedelemtermelő képességének növelése régiójuk fejlődésének szempontjából is.

Disszertációmban egy fontos kohászati eljárás technológia-tervezési, valamint termelés-szervezési fejlesztésének lehetőségeit vizsgálom és olyan módszereket dolgozok ki, amelyek alkalmasak a versenyképesség növelésére, különösen hengerművek esetében.

A hideghengerlés, mint képlékenyalakítási technológia széles körben alkalmazott, nagy arányt képviselő megmunkálási eljárás a nehéz és könnyűipar alapanyag-igényének kielégítésében, ugyanakkor igen költségigényes.

A hideghengerlés költség szerkezetében legnagyobb arányú az alapanyagköltség, amelynek számottevő csökkentésére azonban – a beszerzési források megválasztásán kívül – csak minimális ráhatása van a vállalatoknak.

Másik nagy hányadot képviselő költség nem az energiafelhasználás.

A hideghengerművekben a főművelet mellett rendkívül energiaigényesek a kiszolgáló technológiai fázisok is (pácolás, hőkezelés, kikészítés).

A költségek csökkentésére számos technológiai fejlesztési, termelésszervezési megoldás kínálkozik, ezek közül kívánok néhány jelentősebbet értekezésemben bővebben kidolgozni.

Az 1. táblázatban összehasonlítást teszek egy magyarországi, valamint egy nyugat-európai hideghengermű 2001-ben mért fajlagos költségáfordításai között.

A magyarországi esetben az energiafelhasználás és gépköltségek magas arányúak, jóval meghaladják a nyugat-európai cég esetében kalkulált értékeket. Figyelemre méltó továbbá a személyi jellegű költségek és az amortizáció ellentétes értelmű különbsége. Ezek a differenciák csak részben magyarázhatók a két gyártórendszerben alkalmazott technológiai eltérésekkel. A különbségek nagyrészt a két gyártórendszer technikai, valamint irányításszervezési színvonalának eltéréséből adódnak, ezzel is igazolva a technikai-, technológiai fejlesztésre és termelésirányítási rendszerfejlesztésre irányuló törekvések jelentőségét.

Egy magyarországi és egy nyugat-európai hideghengermű költségstruktúrájának összehasonlítása fő költségnemek szerint alapanyag és fel nem osztott költségek nélkül

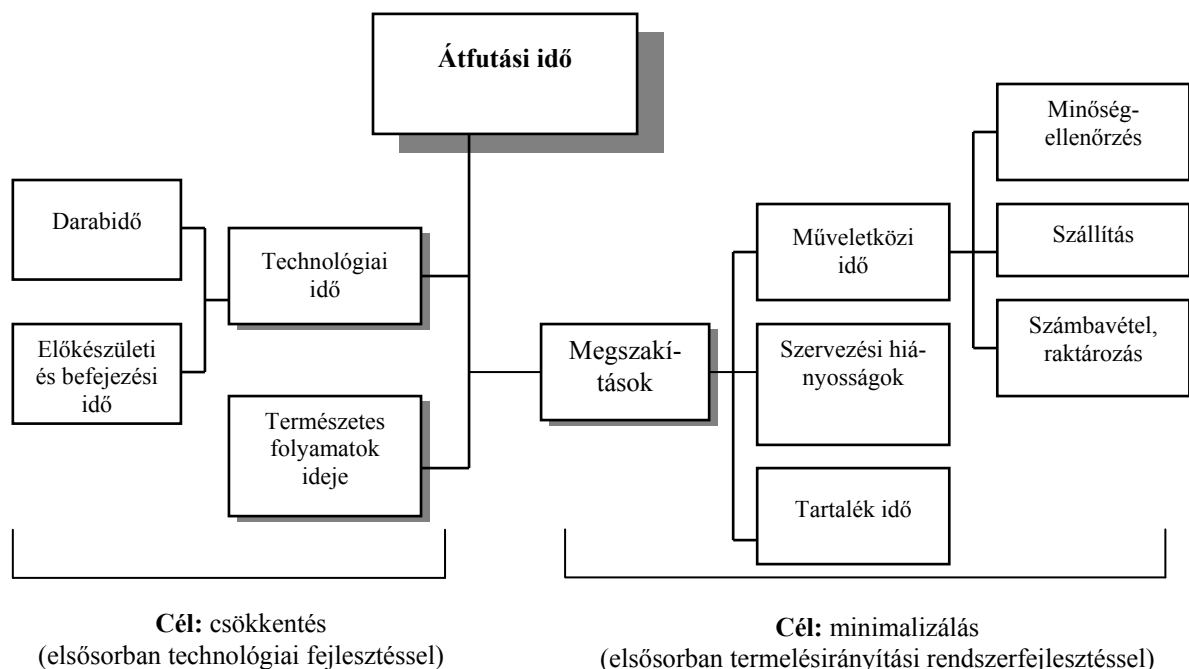
1. táblázat

Költségnem	Egy magyarországi cég költség adatai		Egy nyugat-európai cég költség adatai		Különbség	
	Arány (%)	Fajlagos (eFt/t)	Arány (%)	Fajlagos (eFt/t)	%	eFt/t
Személyi költség	13,5	1,9	29,8	4,5	16,3	2,6
Energia költség	31,2	4,4	17,9	2,7	- 13,3	- 1,7
Gépköltség (energia és amortizáció nélkül)	24,1	3,4	15,9	2,4	- 8,2	- 1,0
Segéd- és csom.anyag	14,2	2,0	5,3	0,8	- 8,9	- 1,2
Amortizáció	8,5	1,2	22,5	3,4	14,0	2,2
Egyéb	8,5	1,2	8,6	1,3	0,1	0,1
Összesen	100	14,1	100	15,1	-	1,0

Forrás: a szerző gyűjtése és szerkesztése

A ráfordításokat általánosságban tovább vizsgálva az energia- és gépköltségeken túl a gyártásközi készletek felhalmozódása, a hosszú gyártási átfutási idő okoz komoly készletleketési veszteséget sok esetben. Nem vitatható, hogy adott gyártórendszeren belül a technológiai idő-rövidítés szoros korrelációs kapcsolatban van a fajlagos energiaráfordítással.

Nagy valószínűséggel a beavatkozás – a technológiai átfutási idő csökkentése – akkor gazdaságos, ha ez a korrelációs viszony pozitív, vagyis az egységnyi termék technológiai átfutási idejének rövidülése a fajlagos energiaköltségek csökkenését eredményezi. Természetesen áldozatot hozhatunk a fajlagos energiaköltségek növekedése árán is az egységnyi termék technológiai átfutási idejének csökkentése (vagyis a termelékenység növelése) érdekében, de ennek megvannak a műszaki (termékminőségi, teljesítőképességi, terhelhetőségi, konstrukcionális stb.) és gazdasági (finanszírozhatósági, megtérülési stb.) korlátai, amelyek minél pontosabb, számszerű ismerete elengedhetetlenül fontos információi fejlesztési döntéseinknek. A gyártási átfutási idő szerkezetének ismeretében (1. ábra) kétféle módon érhetünk el rövidítést.



1. ábra. Az átfutási idő szerkezete és a redukálás lehetőségei

Forrás: Szerző szerkesztése.

Egyrészt a technológiai idő csökkentésével, amely esetben a darabidő és/vagy az előkészületi és befejezési időket kell rövidítenünk. Ezek közé a feladatok közé tartoznak a gyártás technológiájának fejlesztési (paraméter optimalizálási, racionalizálási, bővítő beruházási stb.) feladatai. Másrészt a megszakítások időinek minimalizálásával is elérhető gyártási átfutási idő (ezzel együtt költség) csökkentés.

Ebben az esetben a műveletközi időket, a tartalék időket, valamint a szervezési hiányosságok miatt bekövetkező kieső időket kell minimálisra csökkenteni. E feladat elsősorban és legolcsóbban a termelésirányítási rendszer fejlesztésével (kutatásaim tapasztalatai szerint hideg hengerművekben egyedi szoftver kifejlesztésével és támogatottságával) oldható meg. Az átfutási idő redukálását célzó beavatkozások nemcsak tárgyak szerint tipologizálhatóak, mint azt az előzőekben taglaltam, hanem pl. ráfordítás igényük alapján is.

Vannak ún. racionalizáló jellegű fejlesztések, amelyek elsődlegesen a meglévő adottságok (személyi, technikai és technológiai feltételek) optimális kihasználására törekcsenek, hatékonyságfokozási lehetőségek módszeres feltárásával és kiaknázásával. Ezek ráfordítás igénye minimális, realizálásuk időszükséglete viszonylag rövid.

A másik fejlesztési kategória az ún. beruházó jellegű, amely a meglévő adottságok átalakítására irányul, ezért nagy volumenű finanszírozást és általában hosszabb realizálási időt igényel.

A hideghengerlés technológiáját alkalmazó hazai vállalatoknak alapvető érdeke tehát megtalálni mindazokat az akár racionalizáló, akár beruházó jellegű fejlesztési megoldásokat, amelyekkel növelhető a versenyképességük, csökkenthetők a veszteségek, a költségek volumene.

Kutatásaim során két területet vizsgáltam.

Az **egyik** azoknak a technológia racionalizálási, optimalizálási beavatkozásoknak a köre, amelyekkel gazdaságosan lerövidíthetők a gyártási fő- és mellékidők, csökkenthető a fajlagos energia- és alapanyagfelhasználás.

A **másik** súlyponti kutatási terület azon rendszerfejlesztési megoldásoknak a vizsgálata, amelyek alkalmazásával (magasabb fokú programozottsági szinten) csökkenthetők a gyártás megszakítási idők, növelhető a határidőbiztonság, minimalizálhatók az alapanyag-, befejezetlen- és félkész készletek, optimalizálható a termék összetétel.

Értekezésemben elemezem a két beavatkozási terület gazdaságossági összefüggéseit is.

1. Szakirodalmi áttekintés

Az utóbbi évtizedekben világszerte felgyorsult a hideghengerlési technológiák fejlődése is, ami a termelés mennyiségi növekedésén túlmenően a gyártott termék választékának bővülésével és minőségének folyamatos javulásával jellemezhető. A technika általános fejlődése értelemszerűen a féltermékekkel szemben is fokozott követelményeket támaszt, ami a felhasználók részéről elsősorban szigorú minőségi elvárások formájában jelentkezik [1,2,3].

A korszerű szalagfeldolgozó iparágak minőségi feltételei az utóbbi időben különösen az alaki jellemzőkkel szemben növekedtek. A hengerrés alakváltozási törvényszerűségei következtében a végső alak kialakulásában valamennyi technológiai műveletnek szerepe van.

A méretpontos és alakhű, belső alakítási feszültségekkel nem terhelt, úgynevezett *síkfekvésű* szalag hideghengerlési technológiájának kidolgozásakor a munkahengerek rugalmas és termikus alakváltozását, a hengerek alapdomborítását, az alapanyag meglévő lencsésességét, valamint a hengerek kopását is gondosan figyelembe kell venni. Minél pontosabb számítási módszereket használunk a hengerlési technológia készítésekor e fenti paraméterek meghatározására, annál kevesebb utólagos korrekcióra van szükség a szűréstervek gyakorlati megvalósításakor. Egy számítógépi program, amelyet később bemutatok, még az optimális köszörült alapdomborítás (mechanikai bombír) meghatározására is alkalmas. A számítás során a munka- és támhengereknek egységes rendszert kell képezniük, azaz a két henger érintkezési viszonyait is nyomon kell követni [4].

1.1 A hengerrés alakjának vizsgálata

Napjainkban a feldolgozóipar egyre nagyobb mennyiségben igényel rendkívül jó síkfekvésű szalagokat, ami jelentős követelményeket támaszt a szalaghengerlési technológiával szemben. A hengerelt szalagok síkfekvése összefügg a hengerlés közben kialakuló hengerréssel. A jó síkfekvésű szalagok gyártásához tehát elengedhetetlen a hengerrés méretének és alakjának pontos ismerete [5,6].

Minthogy a szalaghengerlés eredményességében meghatározó szerepe van a termék síkfekvésének, a befolyásoló paramétereket részletesen kell elemezni. Ebben a vonatkozásban az alább felsorolt paraméterek meghatározása, hatásuk figyelembevétele, illetve kiszámítása képezi a fő feladatokat [6]. Ezek:

- a befutó szalag meglévő alakjának (lencsésességének) figyelembevétele,
- a henger eredeti (köszörült) alapdomborításának (bombírozásának) meghatározása,
- a munka- és támhengerek behajlásából és belapulásából származó rugalmas alakváltozások elemzése,
- a hengerek egyenlőtlen mértékű felmelegedéséből származó alaktorzulás (hőbombír) meghatározása,
- a munka és támhenger kopásának meghatározása.

A köszörült alapdomborítás nagysága a hengerlés folyamán két hengercsere között – az egyenlőtlen kopástól eltekintve – állandó. Ennek ellenére az alapdomborítás – gyártási program ismeretében történő – helyes megválasztásával kedvezően befolyásolható a hengerrés alakja. A termikus domborodás a szűrés nagyságának, a hűtés intenzitásának és eloszlásának változtatásával befolyásolható. A szabályozásnak ez utóbbi módszere nem mindig kielégítő, mivel nagy az időállandója: viszonylag hosszú idő kell ugyanis ahhoz, hogy a henger teljes hosszán illetve annak belsejében a kívánt hőmérsékleteloszlás kialakuljon. A rugalmas alakváltozások nagyságát alapvetően a hengerlési erő szabja meg, ami a szűrasterv változtatásával befolyásolható. A hengerrés szabályozása (például a hengerek hajlítása külső ellennyomatékkal) azáltal módosítja a hengerelt szalag lencsésességét, hogy változtatja a hengerek rugalmas behajlását. A hengerkopás mértékét különböző tényezők befolyásolják, úgymint a hengerek és a hengerelt szalag anyagminősége; a hengerek és szalag hőmérséklete; a fajlagos hengerlési erő; a hengerlési sebesség; a szalag és a hengerfelület közötti csúszás; a szalag felületi minősége; a henger felületi simasága és keménysége; az alkalmazott hűtőkenőanyag kenőképessége stb. A hengerkopás következtében csökken a hengerelt áru mérettartása. A kopott munka- és támhengerek nem érintkeznek teljes felületükön, közöttük szabálytalan alakú rés képződik.

A változások időbeli jellege kétféle. A mechanikai és a hőigénybevétel okozta változások rugalmas jellegűek: a hengerlési erő következtében fellépő igénybevétel a hengerrést növeli, a hengerek felmelegedésével arányos hőtágulás pedig a rést csökkenti. A kopás okozta résváltozás maradó jellegű és monoton növekvő a kihengerelt mennyiség függvényében. Egyetlen darabon belül gyakorlatilag csak a reverzibilis folyamatoknak van jelentősége, míg a kopással összefüggő jelenségek csak fokozatosan, darabról darabra jutnak el az alakhiba kifejlődéséig.

A szakirodalomban számos publikációt találhatunk, amelyek a munka- és támhengerek hengerlés közben lejátszódó mechanikai folyamatainak vizsgálatával foglalkoznak. A hengerek meghajlásának (kihajlásának) vizsgálatához kezdetben azokat külön-külön kéttámaszú tartónak tekintették és a számításokat a rugalmas szál differenciálegyenlete alapján végezték el [4,7]. A feladat zárt alakú megoldásának előállítása még ilyen egyszerű modell esetében is nagy nehézségekbe ütközött és csak további lényeges egyszerűsítések alkalmazásával volt lehetséges. Gondot okozott a támhenger hatásának, valamint a szalagról átadódó terhelés nem egyenletes felületi megoszlásának figyelembevétele. A modell legnagyobb hibája mégis az, hogy a hengerest kis hossz/átmérő viszonyszámának következtében a hengerek behajlása csak durva közelítéssel írható le a rugalmas szál differenciálegyenletével. A munka- és támhengerek rugalmas belapulásának meghatározása pedig ezzel a modellel nem is számítható.

A szakirodalomban főként mérések alapján felállított egyszerűsített tapasztalati képleteket használnak a rugalmas belapulás meghatározására.

A hengerrés korábbiaknál pontosabb meghatározásához egy összetettebb modellre van szükség. A feladat megoldására a végeselem módszer tűnik a leghatékonyabbnak. Több kutató már végeselem módszerrel oldotta meg a problémát, azonban a munka- és támhengereket úgy modellezte, mintha azok a kezdeti érintkező vonal mentén össze lennének „hegesztve”. Ez a modellezés szintén hibákat okoz mind az elmozdulás és belapulás, mind a feszültségek számításában.

A hengerlési erő következtében a henger részben rugalmasan benyomódik, részben behajlik [8]. A munkahengernek a darab által nyomott felülete, továbbá a munka- és támhenger érintkezési felülete rugalmasan deformálódik.

Ezen kívül a munka- és támhengerek körkeresztmetszetei rugalmasan eltorzulnak.

A kész darab alakja szempontjából a hengertesthossz mentén kialakuló benyomódás eltérésének a mértéke is lényeges. A hengerrés rugalmas alakváltozása főként pl. a kevésbé merev, azaz mintegy "hajlítható" hengerek esetén határozza meg alapvetően a hengerrés nagyságát és ezáltal a hengerelt szalag síkfekvését. A hengerelt szalagról átadódó megoszló terhelés jellege, valamint a munkahenger csapágyazásai és a támhengerek elhelyezkedése miatt a hengerrés rugalmas alakváltozása csak térbeli kontakt végeselem-moddal számítható. A számítások például a COSMOS/M nevű végeselemes programcsomag segítségével végezhetők el, amelynek nemlineáris modulja képes kontakt feladatok megoldására is.

1.2 A sík szalagkifekvés feltételét kielégítő hideghengerlési technológia

A hidegen hengerelt, első megközelítésben téglalap keresztmetszetű szalag, mint legegyszerűbb „profil” előállítását látszólag a problémamentes hengerlési feladatok közé lehetne sorolni. Azonban az ideális, a gyakorlatban tartósan és folyamatosan hibátlan gyártmányt adó művelet elvégzése, az optimális technológia kialakítása - a menet közben is változó számos tényező miatt - a napjainkban szokásos nagy hengerlési sebességek esetén mind a technológia-tervezés és ellenőrzés, mind a hengerlő berendezés oldaláról számos feltétel betartását követeli meg, és rendszerint nem nélkülözheti számítógép igénybevételét [9,10,11].

A hideghengerlési technológiával előállított szalagok ideális mértani alakja a párhuzamos síklapokkal határolt hasáb. A valóságos alak az ideálistól - a gyártás műszaki-technológiai feltételeitől függően - többé-kevésbé eltér [2]. A különféle jellegű és mértékű eltérések, az alak- és mérethibák a hengerlés során alakulnak ki. Ezek a hibák közvetlenül befolyásolhatják a szalagtermék felhasználhatóságát. A gyártás műszaki lehetőségeinek és a hengerlés utáni feldolgozás követelményeinek reális összhangjában a vonatkozó szabványok előírják az ideális alaktól és méretektől való eltérések megengedhető mértékét.

A méretpontosságon kívül a hosszirányú és a szélesség irányú alakhűség, a síkfekvés is a hengerelt gyártmányok fontos jellemzője.

A különböző szabványok ezekre a jellemzőkre is általában pontos előírásokat adnak, és ezek az előírások - a mérettűrésekhez hasonlóan - a műszaki fejlődés során egyre szigorúbbak lesznek. A műszaki gyakorlat igényei már ma is sok esetben meghaladják az érvényes szabványok ilyen irányú követelményeit.

A hengerelt szalag síkfekvésének követelménye a hengerlést követő tovább-feldolgozó műveletek során; hasításkor, daraboláskor, bevonatoláskor stb. hatványozottabban jelentkezik. Ugyanis, ha a szalagban hengerlés folyamán a szélesség mentén az alakváltozás egyenlőtlen, pl. hasítás után az egyes sávok elgörbülnek, „kardosak” lesznek, darabolás után a táblák elhajlanak, bevonatolás után a felvitt réteg elválhat a felülettől. Ezzel magyarázható, hogy a szélesség irányú vastagság-változás törvényszerűségeinek a feltárása, illetve azok hasznosítása az utóbbi időben előtérbe került.

A hidegszalag-hengerlési technológia optimalizálásakor a maximális termelékenység feltétele mellett a meghatározó minőségi követelményeket is ki kell elégíteni [1,12]. Termelékenység szempontjából optimálisnak tekinthető az olyan hideghengerlési technológia, amellyel egy adott hengerson, egy adott anyagminőségű hengerelt termékből, az előírt kiindulási és kész méretek mellett időegységben a legnagyobb mennyiség gyártható. A minőségi követelmények optimalizálási feltétele szerint a cél olyan hidegszalag hengerlése, amely a korszerű előírásokat kielégítő méretpontosságon túlmenően, a sík-kifekvés feltételeinek (alakhűség) is megfelel.

A hengerelt szalag alakítástechnológiai paramétereinek meghatározása, illetve a hengerés alakjának számítására vonatkozó függvénykapcsolatok konkrét kimunkálása lehetővé tette egy szimulációs matematikai modell létrehozását. A modell alkalmazásával az előírt peremfeltételeknek (h_0 ; h_n ; F_{max} ; P_{max} ; v_{max} ; v_{min} ; Δh_{max} ; Δh_{min} ; Z_{0max} ; Z_{0min} ; Z_{1max} ; Z_{1min} ; $F_{hj,max}$; T_{max}) eleget tevő, emellett maximális termelőkapacitást eredményező és a síkkifekvés feltételét is betartó hideghengerlési technológia alakítható ki [13,15].

A hideghengerlési technológia komplex optimalizálása - a fentiek szerint - arra az alapkoncepcióra épül, hogy a minőségi követelmények által meghatározott feltételek mellett, kifogástalan minőségű szalagtermékből, időegység alatt maximális mennyiséget kell előállítani.

Sík kifekvésű lesz a hengerek közül kifutó szalag akkor, ha a szélesség mentén az alakváltozás mértéke mindig, azaz minden egyes szúrában egyenletes. Ha ez a feltétel nem teljesül, akkor a kifutó szalagon a következő jelenségeket lehet tapasztalni:

- A szélesség mentén a szalag elemi szélességű szálai az eltérő nyújtási tényezők miatt különböző hosszúságúak, ami vastag szalagoknál maradó belső feszültséget, vékony szalagoknál pedig hullámosságot okoz.
- Hengerlés közben a leadó és a felcsévélő oldalon a szalagszélesség mentén a húzófeszültség eloszlása egyenlőtlen, ami szélső esetben szakadáshoz is vezethet.
- A szalag sávokra történő hasítása után az egyes sávok görbültek („kardosak”) lesznek.

A szélesség mentén egyenletes alakváltozás feltétele az, hogy a munka- és támhengerekre köszörült alapidomborítás a hengerek rugalmas alakváltozásait (behajlás és belapulás), valamint a hőmérséklet változás hatására bekövetkező hődomborulatot (hőbombírt) kompenzálja [1,10,11].

A hideghengerléskor mindig alkalmazott nagy külső húzófeszültségek következtében a szalag alakítás közben *látszólagosan* sík kifekvésű lehet annak ellenére, hogy a hengerlésre vonatkozó fenti feltételek nem teljesülnek. A jelentős nagyságú külső húzóerő (feszítés) megszűntével azonban megjelennek vagy megjelenhetnek (ez a szalag vastagságának függvénye) [1] hullámok, illetve a hasított szalagcsíkok „kardosak” lesznek.

1.3. A szélesszalagok hideghengerlési technológiájának optimalizálása

A szakirodalom a hengerelt termék alakjának az automatikus szabályozását bőven tárgyalja ugyan, azonban ezen közleményekben rendszerint a kifutó szalag alakját folyamatosan mérik és erre a mért jelre (vagyis az eltérésre) szabályozzák a hengerlést [4,5,7].

Ha elméletet is közölnek, rendszerint megmaradnak annál a klasszikus - de ma már erősen túlhaladott - alapfeltételnél, hogy a hengerlési erő állandóságára szabályoznak (vagyis, hogy valamennyi szúráásban azonos legyen a hengerlési erő, mert így a hengerek rugalmas alakváltozása mindig azonos nagyságú lesz), nem törődve a hődomborodás megkívánt állandóságával.

A hengerlési technológia optimalizálása pedig a hengerek azonos rugalmas alakváltozásán és a maximális elméleti óráteljesítmény betartásán kívül egyéb - első-sorban *hőteni* - feltételek kielégítését is feltételezi. Ezek:

- A hőenergia-áramok olyanok legyenek, hogy hatásukra a munka- és a támhenger hőmérséklete valamennyi szúráásban és a szúrák teljes tartama alatt a henger valamennyi térfogatelemében csak igen szűk tűrésmezőben változzon. A hengerek nagy tömege miatt ugyanis azok időállandója is nagy, aminek következtében a változó hőmérsékletű szakaszok változó lencsésességű szalag hengerlését jelentik.
- A henger és elsősorban a szalag maximális hőmérséklete, - alumíniumötvözeteknél például a hűtő-kenőolaj tűzveszélyessége miatt - szigorúan korlátozva van.

A fentiekben vázolt alapelvek komplex betartásával kialakítható egy olyan hideghengerlési technológia, amelynél akár előre rögzítjük a maximális szalaghőmérsékletet és előírjuk a kifutó termék megengedett maximális lencsésességét.

Egy belső feszültségektől mentes termék hideghengerlésének alapvető feltétele az, hogy a szalagszélesség mentén a fajlagos alakváltozás azonos legyen. A hengerrés alakjának tehát szúrásról-szúrára követnie kell a szélesség irányú alakváltozás szúrásonkénti egyenlőségének követelményét.

A hengerrés alakját – mint arra korábban utaltam – a köszörült alapdomborításon kívül a hengerlési erőből, mint megoszló terhelésből származó kihajlás (mechanikai terhelés) és a hengertest egyenlőtlen felmelegedéséből származó hődomborodás (hőterhelés) együttesen szabja meg. Ezek előjele különböző, ezért rajtuk keresztül a hengerrés alakja akkor is "megtervezhető", ha a hengerállvány nem rendelkezik automatikus résszabályozó berendezéssel.

A hengertest nagy tömege miatt a hődomborodás állandóságára kell törekedni azért, hogy a tranziens jelenségek ne okozzanak alakhibákat a hengerelt termékben. A hődomborodás állandóságának eléréséhez az szükséges, hogy a hőáramsűrűségek időben állandóak legyenek, tehát valamennyi termék valamennyi szűrésében a hengertestbe *bejutó* és az abból *elvon*t hőmennyiség azonos legyen. Ha ezt a feltételt nem tudjuk kielégíteni, vagy belső feszültségek lesznek a hengerelt termékben, vagy a hengerrést folyamatosan szabályozni kell [5]. Ilyen szabályozás a nagy időállandójú (de nagy hőtágulás-különbség elérésére alkalmas) **zóna hűtés/fűtés** és a kis időállandójú **mechanikus résszabályozás** (hengerhajlítás, hengereltolás, hengerpalást felfújása stb.).

A hengertestbe a hengerelt szalaggal érintkező úgynevezett nyomott felületen át kétféle forrásból keletkező hőáram hatol be:

- az alakváltozási hő és
- a felületi súrlódási hő.

Ez utóbbi hatását kvantitatíven a *Miskolci Egyetem Kohógéptani és Képlékenyalakítástani Tanszékén* vizsgálták először [9,14]. A vizsgálatok egyik eredménye annak megállapítása, hogy a vékony méreteknél (különösen a fólia hengerlésekor) a kétféle hőfejlődés részaránya megváltozik, mivel a hengerrésbe bezárt és alakváltozást szenvedő anyagtérfogat kicsi, viszont a két nyomott felület nagy, ezek mentén a relatív elmozdulás a nagy megnyúlás és a tapadási tartomány hiánya (jó a kenés) miatt számottevő, így ennek a hőmennyiségnek a szerepe jelentős. Különösen igaz ez akkor, ha a hengerelt anyag viszonylag lágy, vagyis kicsi az alakítási szilárdsága, mert ekkor kicsi az alakváltozási munka hőegyenértéke.

Fentiek szerint tehát, ha a súrlódási hőmennyiséget csökkenteni lehet, a hengertest hőterhelése jelentősen lecsökken.

A szalagok hideghengerlési technológiájának egyik lényeges korlátfeltétele tehát a hengerrésből kifutó termék hőmérséklete, amit az alakváltozás nagysága, a hengerlési sebesség, a hőelvonások stb. határoznak meg. Egy komplex és optimális technológia kidolgozása során ezek szerint arra keressük a választ, hogy a hőfejlődést meghatározó paramétereknek van-e, lehet-e olyan kombinációját találni, amellyel a kvázi stacionárius hőáram-sűrűség követelményét és a síkfekvés egyéb feltételeit is betartva, a vékony termékek (fólia is) hengerlési technológiája optimalizálható.

Úgy találtam, hogy ez a súrlódási tényező csökkentésén keresztül is befolyásolható: a súrlódási tényező csökkenésével csökken a felületen képződő hőmennyiség, viszont nő a henger és a darab közötti megcsúszási veszély.

A súrlódási tényezőt adott összetételű hűtő-kenőanyag esetében elsősorban a munkahenger felületi érdességének változtatásával lehet "beállítani": finomabb szemcse nagyságú köszörűkővel kisebb felületi érdességű munkahengereket lehet készíteni, de ezzel a megcsúszási veszély nő [16,17]. Vizsgálni kell tehát technológiakészítéskor a hengerrésre érvényes "áthúzási feltételt", és a felületi érdességet csak annyira szabad csökkenteni, hogy a megcsúszás elleni megfelelő biztonság megmaradjon.

A súrlódási viszonyok fenti optimalizálása azt eredményezi, hogy a hengerlési technológia két alapvető paramétere: a hengerlési sebesség és a magasságcsökkenés valamelyike növelhető a megengedett legnagyobb hőmérsékletek eléréséig, hiszen a felületi súrlódási munka csökkentésével kevesebb hő fejlődik.

A hengerlési sebesség és a magasságcsökkenés összhangját a síkfekvés feltétele (a hengerlési karakterisztika-diagram) szigorúan előírja. Célszerű azonban a legnagyobb óráteljesítmény (kapacitás) elérése érdekében a hengerlési sebességet gépészeti-
leg vagy a motorteljesítmény szempontjából a lehető legnagyobbra választani, - értelem szerűen ott, ahol nem vizes emulzióval, hanem olajkeverékkel dolgoznak, a kenőanyag lobbánáspontját is figyelembe véve -, és a magasságcsökkenés nagyságát a rés mechanikai alakváltozásához "szükséges" erő nagyságán keresztül megkeresni. Ehhez egy optimális köszörült alapdomborítás adódik ki.

Az iterációs folyamatot a feszítőerők (a be- és a kilépő szálban működtetett húzóerők) nagyságának megválasztásával kedvezőbb irányba terelhetjük. Az iterációban a független változó például a hengertest tervezett hődomborodása lehet, ezt felvéve határozható meg az összes többi paraméter és ellenőrizhető, hogy ez az előzetesen felvett hődomborodás megfelelő volt-e a határfeltételek betartása és a síkfekvés szempontjából. Ha nem, akkor a független változó "léptetése" után újabb számítási ciklus következik.

1.4 A hideghengerlés gyártásszervezési környezete és lehetséges fejlesztési irányai

Disszertációm vizsgálati tárgykörének másik kutatási vetülete a hideghenger-műi gyártási folyamathálózat (súlypontilag a hideghengerlés) termelésirányítási rendszerének fejlesztési lehetőségei.

Ennek a választásnak fő oka, hogy a konstrukcióban és a technológiában formát öltő – a termék önköltségét jelentősen meghatározó – elképzelések gazdasági hatásfokát kedvezőtlenül befolyásolhatják azok a többletköltségek, amelyek az átfutási idő meghosszabbodása, a segédüzemek szolgáltatásainak késése, helytelen anyaggazdálkodás, pontatlan, lassú ügyvitel miatt merülhetnek fel.

Tehát ebben a kutatási irányban a gyártásszervezést fejlesztő beavatkozások jelentőségét kívánom bizonyítani [21].

A gyártási folyamatot, mint tevékenység láncolatot értelmezzük, vagyis azoknak a térben és időben lejátszódó célszerű tevékenységeknek a meghatározott láncolataként fogjuk fel, amelyek valamely igény kielégítésére (előre kitűzött cél megvalósítására) irányulnak. Ezen meghatározás szerint a gyártást irányító részrendszer is folyamatként értelmezhető, mégpedig azoknak a tevékenységeknek az összességéként, amelyek a gyártás technikai és időrendi terveinek, valamint a végrehajtás szükséges feltételeinek előkészítését lehetővé teszik, zavarok esetén az akadályokat elhárítják, valamint az eredményeket regisztrálják [21].

Más értelmezésben [22] kétféle termelési folyamatot (és ehhez kapcsolódó termelésirányítási alrendszert) különböztetünk meg. A szűkebb értelemben vett termelési folyamat kizárólag technika-technológiai átalakítási (megmunkáló) folyamat.

A tágabb értelemben vett folyamat pedig az anyagnak a beérkezésétől a késztermék kibocsátásáig terjed. Ennek a termelési folyamatnak a szakaszai:

1. Előkészítés folyamata, amely a megrendelésekhez kapcsolódó programozást, az erőforrások felhasználásához szükséges információk feldolgozását, továbbá az erőforrásokat biztosító tevékenységet foglalja magába.
2. Technológiai folyamat.

3. Egyéb szükséges folyamatok, mint amilyen a szállítás, a minőség ellenőrzése, a raktározás.
4. Értékesítés folyamata, amelyből ide soroljuk a termékek kompletté tételének, csomagolásának folyamatát a kiszállítással bezárólag.

A szűkebb értelemben vett gépgyártási termelési folyamat tipikus szakaszai Kocsis szerint az alábbiak [23].

1. Előkészítő munkák
2. Mechanikai megmunkálások
3. Hőkezelés
4. Felület kikészítés
5. Összeépítés

Ezeknek megfeleltethetők a hideghengerműi gyártási szakaszok (technológiai fázisok). A hideghengerművek szűkebb értelemben vett termelési folyamatának gyártórendszere általában öt fő technológiai fázist foglal magába:

1. pácolás,
2. hengerlés,
3. hőkezelés,
4. dresszírozás,
5. kikészítés.

A végterméktől függően ezen gyártó technológiák kombinációi alkotják a gyártási folyamatot. A folyamat fázisai között gyártásközi készletek (félkész termékek), az első fázis előtt alapanyag, az utolsó fázis után késztermék készletek raktározása történik. A készletek nagysága és összetétele a hideghengerművek fontos optimalizálási területe. Értekezésem második részében is súlypontilag a hideghengerműi gyártórendszer fő technológiai fázisával: a hideghengerléssel és annak gyártásszervezési problematikájával foglalkozom, de a rendszerszemlélet követelményének megfelelően természetesen figyelembe veszem a kapcsolódó (megelőző, követő) fázisokat és azok sajátosságait is, tehát a tágabb értelmezésű termelést és annak irányítását vizsgálom, valamint javaslatot teszek egy korszerű hideghengerműi irányítási rendszer kialakítására.

A termelési folyamat definiálása után tekintsük át irányításának lehetséges funkcióit.

A munkairányítás, gyártásszervezés a termelési folyamat fejlődésével változik, azt követve tökéletesedik; alapvető célja a termelés gazdaságos és ütemes végrehajtásának biztosítása a rendelkezésre álló termelési kapacitások legkedvezőbb kihasználása révén, a gyártás előrehaladásának pontos időbeni és térbeli meghatározásával [24].

A termelésirányítás – funkciói szerint – a szakirodalomban többféle értelmezést kap.

Hatásterületét tekintve:

- döntési jellegű, ha a termelési cél kitűzésére irányul,
- szervező jellegű, ha a cél elérésére irányul,
- beavatkozó jellegű, ha a végrehajtó folyamatokat közvetlenül befolyásolja.

A funkciók specializálódását figyelhetjük meg a vállalati méretek és a gyártási folyamatok összetettségének növekedése következtében.

Szintay szerint [25] a termelésirányítás termelésprogramozásból, munkaadagolásból, műhely irányításból és szállításból áll.

Kocsis és Fáy szerint [24] a termelésirányítás tipikus funkciói bővebbek: tervezés, programozás, előkészítés, előrehaladás ellenőrzés, akadály elhárítás.

Míg az előző felosztás szekvencionális jellegű bonyolítás-orientált rendszerszemléletet tükröz, addig a másik a gyártásszervezést a műszaki és adminisztrációs mechanizmusok egymáshoz rendelésével osztja specifikus funkciókra. Ebben a felosztásban az utolsó két elem visszacsatoló, monitoring jellegű.

A visszacsatolásnak a termelésirányításban egyre nagyobb jelentősége van.

A korszerű értelmezés szerinti termelésirányítás alapelveit, valamint az azok által igényelt fejlesztési feladatokat a 2. táblázatban rendszerezem.

A korszerű termelésirányítás jellemzői

2. táblázat

Sorszám	Alapelv	Fejlesztési igény
1.	Végrehajtó folyamatok törvényszerűségeinek ismerete	Technológiai folyamatok modellezése
2.	Tervezett és tényleges állapotok összehasonlíthatósága	Naprakész információs rendszer kiépítése
3.	Rész optimumok helyett a teljes rendszer optimumára való törekvés	Irányító beavatkozások tipizálása
4.	Alrendszerek visszacsatolási elv szerinti kapcsolódása	Komplex folyamatrendszer hierarchikus felépítése

Forrás: Kocsis J., Fáy B.: Termelésirányítás visszacsatolással alapján a szerző szerkesztése

Az 1. alapelv disszertációm szempontjából azért figyelemre méltó, mert lényeges összefüggésre mutat rá, és közös fejlesztési feladatokat is generál a gyártás technológia-fejlesztése és a termelésirányítási rendszerfejlesztés viszonyában.

Dolgozatomban két ilyen modellezési feladatot fejtek ki.

Egyik a hengerlési technológia paraméter-optimalizálása.

Másik a többfázisú hengerlések köztes lágyítási helyének meghatározása.

Kiemelést érdemel még a 4. alapelv is, amely a termelésirányítás egyik legdinamikusabban fejlődő iránya, mivel a hierarchikus felépítés elsősorban a rugalmas gyártócellák automatizált, számítógéppel irányított technológiai rendszereinek (Flexible Manufacturing System, FMS) alapvető jellegzetessége [26].

A hierarchia négy tipikus szintje ezekben a gyártórendszerekben (alulról-felfelé):

1. Folyamatirányítók szintje
2. Gépvezérlők szintje
3. Megmunkáló rendszer vezérlők szintje
4. Gyártórendszer vezérlők szintje

A hideghengerműi gyártórendszerekben ez az alapelv nem valósítható meg ezen négy-szintű hierarchia szerint, mivel felépítése, karakterisztikája eltér az alkalmazás fő területét jelentő alkatrészcsalád elvű, csoporttechnológiát alkalmazó gyártórendszerekétől, de pl. a háromszintű alkalmazás reális cél lehet.

2. A hideghengerlési technológia optimalizálási lehetőségei

Kutatásaimnak egyik fő területe azon lehetőségek vizsgálata, amelyek a hideghengerlési technológia tökéletesítésére, racionalizáló jellegű fejlesztésére irányulnak, és realizálásukkal költségcsökkentés/árbevétel növekedés érhető el.

Két ilyen fejlesztési lehetőséget tártam fel és dolgoztam ki.

Az egyik a hideghengerlési technológia paraméter-optimalizálása interaktív szimulációs módszerrel, a másik a többfázisú hengerlés lágyítási helyének megválasztása matematikai modellezéssel.

2.1 Az acél szélesszalagok hideghengerlési technológiájának interaktív tervezése

A hidegen hengerelt lapos termékek gyártásakor az alakhűségnek is az alapvető minőségi követelmények közé kell tartoznia, vagyis egyik elsődleges cél az, hogy a szalagszélesség mentén egyenletes alakváltozás és ezáltal minimális belső feszültség mellett lehessen a hengerlési feladatot megoldani.

Disszertációm ezen fejezetében egy olyan számítógépi technológia-tervező szakértői programrendszer alkalmazását ismertetem, amelynek alapjait a nyolcvanas években a Kohógéptani és Képlékenyalakítástani Tanszéken fejlesztették ki és amelyet a közel-múltban végzett kutatásaim eredményei alapján továbbfejlesztettem. Ennek főbb ismérvei az alábbiak:

Hengerrés-szabályozó automatikával fel nem szerelt hengersorokon a technológiai paraméterek (magasságcsökkenés, hengerlési sebesség, húzó- és fékezőerő, köszörült alapdomborítás, a hűtő-kenőanyag mennyisége és eloszlása stb.) véletlenszerű megválasztása miatt általában nem lehet a gépészetileg megengedhető sebességmaximumot kihasználni. Ezt az egyenlőtlen alakváltozásból eredő belső feszültségek korlátozzák (határesetben: hullámosság, szalagszakadás következik be).

A minőségi követelmények optimalizálási feltétele szerint a cél olyan hidegszalag hengerlése, amely a korszerű előírásokat kielégítő méretpontosságon túlmenően, a síkfekvés feltételeinek (alakhűség) is megfelel.

Az optimális hideghengerlési technológia kialakítása tehát több (pontosabban: valamennyi) feltétel egyidejű betartását követeli meg és nem nélkülözheti a számítógépes támogatást. Megfelelő számítógépi program segítségével megkereshető az összetartozó magasságcsökkenés és sebességtartomány, kiszámítható a minimális vagy maximális húzó- és fékezőerő, a kifejtendő hengerlési erő és nyomaték, a motorteljesítmények, a hűtő-kenő közeg szükséges hőelvonó képessége, megtervezhető a hengerek alapidomborítása, a hengerhajlító berendezés működési tartománya stb.

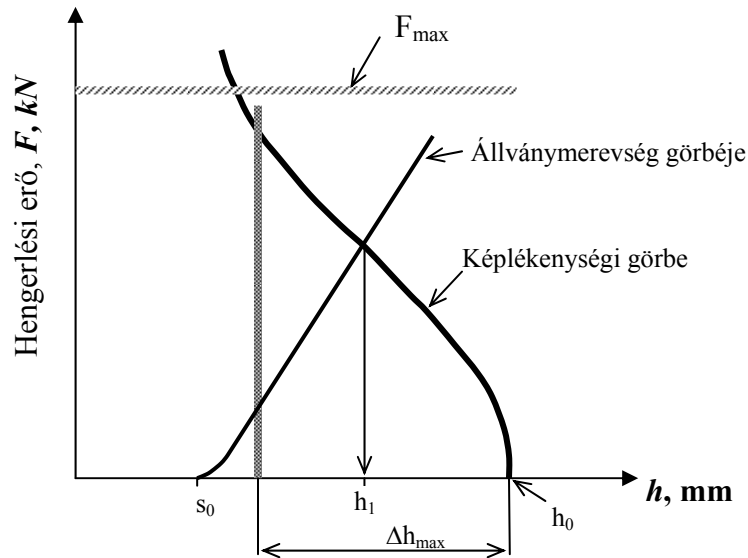
Csak a számított adatok összhangja alapján lehet teljes objektivitással eldönteni azt, hogy egy adott termékválaszték esetén a hengersor jellemző alapparamétereit hogyan és milyen mértékben érdemes megválasztani: pl. a vezérméretek gyártásához célszerű a legnagyobb elméleti óráteljesítménynek megfelelő jellemzőkkel rendelkező hengerrendszert választani.

Az elmúlt két évben általam továbbfejlesztett program segítségével a kisebb tételsúlyok gyártásakor például megítélhető az így megválasztott hengerrendszer óráteljesítménye is, azaz elvégezhető annak vizsgálata is, hogy érdemesebb-e hengert cserélni, vagy inkább a "rossz" köszörült alapidomborítású hengerrel elérhető kisebb óráteljesítménnyel megelégedni.

2.1.1 A hengerlési munkapont megválasztása, a hideghengerlés karakterisztika diagramja

Hengerelni lehet össze nem tartozó paraméterekkel is (például látszólag a magasságcsökkenés és a hengerlési sebesség egymástól függetlenül is megválasztható), azonban ilyenkor a minőségi követelmények (alakhűség, síkfekvés stb.) kielégítési szintje csökken, esetleg a termék eladhatatlanná válik. Ezért szükséges a felvehető hengerléstechnológiai paraméterek közötti összefüggések széleskörű ismerete és közöttük az összhang megteremtése.

Egy hideghengerlési szúrásterv összeállításakor korábban a vizsgált szúráásban megvalósítandó (felvett) magasságcsökkenésből indultak ki és a képlékenységi görbe, valamint a hengerállvány eredő rúgóállandójából határozták meg a beállítandó (terheletlen) hengerrés (s_0) nagyságát (2. ábra).



2. ábra. A beállítandó hengerrés nagysága

Δh_{max} : a megcsúszási feltételhez tartozó magasságsökkenés

F_{max} : a gépészeti szempontból megengedett legnagyobb hengerlési erő

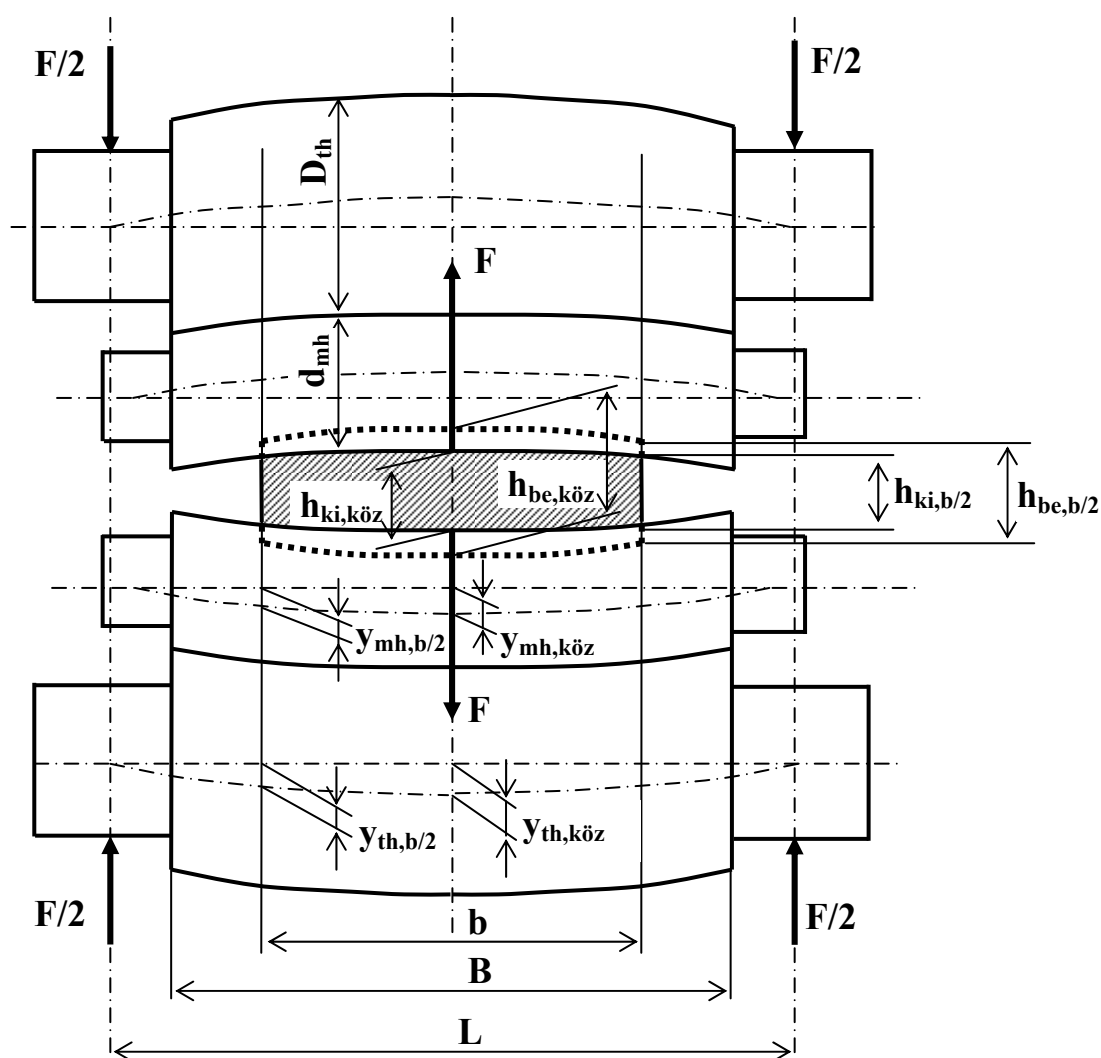
A magasságsökkenés felső határát a szalag megcsúszása, vagy az erő- és nyomatékkorlát szabta meg. Az így megválasztott magasságsökkenéshez szükséges hengerdomborítást a hengerektől anyag és a hengerek rugalmas alakváltozásának, valamint a hődomborulatnak a függvényében elvileg meg lehet határozni. Az eddigi szúrástervkészítés megengedte a választott alakváltozáshoz bármilyen hengerlési sebesség hozzárendelését. A hengerlési sebesség azonban a hőfejlődésen keresztül a hődomborodást, illetve a hengerrés eredő alakváltozását is befolyásolja. Ezt viszont a hengerrés szabályozásával lehet, illetve kell korrigálni.

Az egyes szúráásokban tehát az összetartozó hengerlési jellemzőket úgy kell megválasztani, hogy hatásukra a szúráásban kialakuló hengerréssel a kívánt eredő alakváltozás elérhető legyen. A hengerrés meghatározásakor figyelembe kell venni:

- a belépő szalag alakját (lencsésességét: δh_0);
- a hengerek rugalmas alakváltozását (a tengelyvonalra vonatkozóan: y_{rug}), amely a munka- és a támhengerek tengelyvonalának a kompatibilitás figyelembevételével számított behajlásán kívül a hengerek belapulásától is függ;
- a hengerekre köszörült alapidomborítást (átmérőre vonatkozóan: $2y_0$);

- az anyag alakításához szükséges erőt (képlékenységi görbe);
- a hengerlési sebességgel és az alakváltozás nagyságával arányos hődomborodást ($y_{hő}$).

A hengerlési jellemzőket úgy kell összehangolni, hogy a szalag minden szúrás után síkfekvő maradjon. E feltétel úgy fogalmazható meg, hogy a szalag szélessége mentén valamennyi helyen a relatív magasságcsökkenés (ε), illetve a megnyúlás (λ) azonos legyen (3. ábra).



3. ábra. A hengerrés szükséges alakja

Ennek feltétele - az itt nem bizonyított levezetés eredményének alapján - a szalagszélesség mindegyik helyére vonatkozóan a következőképpen írható:

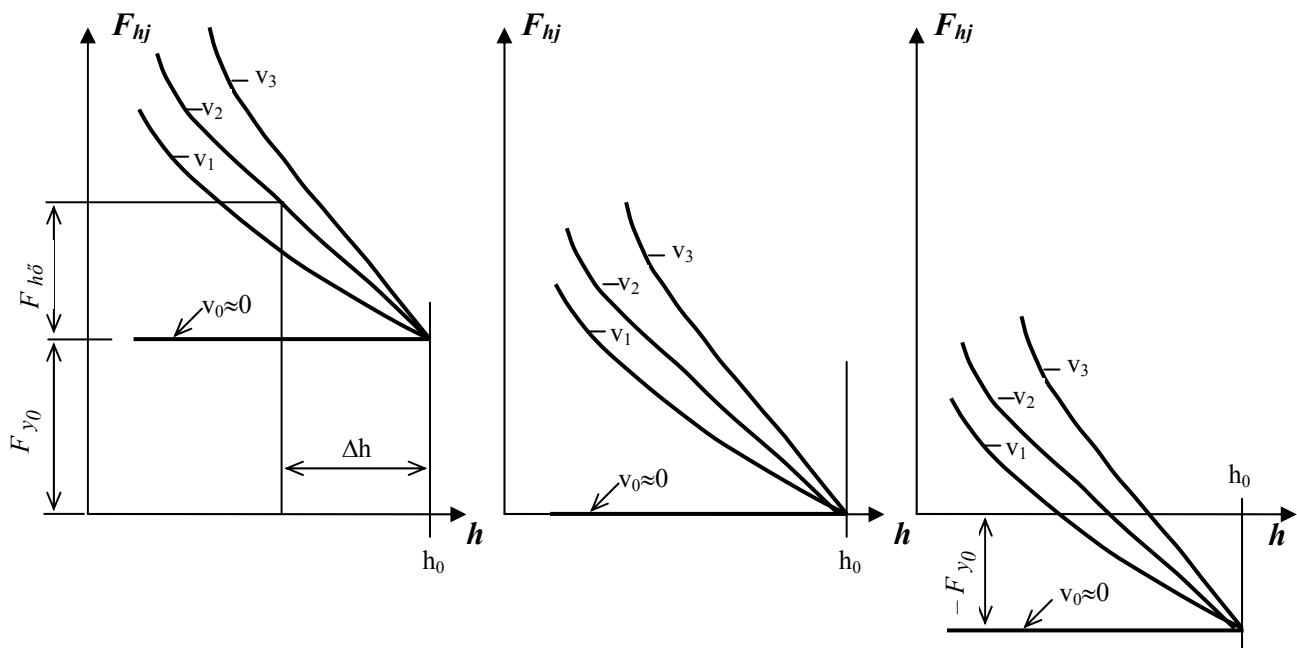
$$\delta h_{ki} = \frac{h_{ki}}{h_{be}} \cdot \delta h_{be} = (1 - \varepsilon) \cdot \delta h_{be}$$

A hengerrés eredő méretkülönbségének a szalagszélesség mentén tehát éppen δh_{ki} -nek kell lennie:

$$\delta h_{ki} = h_{ki,köz} - h_{ki,b/2} \quad ,$$

ahol az indexekben szereplő „köz” a hengerteset közepére, a „b/2” pedig a szalagszél helyére vonatkozó adatot jelölik. A h_{be} a hengerrésbe belépő, a h_{ki} a kilépő szalag vastagsága. A relatív alakváltozást ε -nal jelöltem. A feladat tehát az, hogy **valamennyi** szúrásban a hengerrés alakváltozását, pontosabban a darabbal érintkező hengeralkotók alakját akkorára kell beállítani, mint amekkora az utolsó összefüggésből kiszámítható.

Az eddigiek alapján egyetlen szúrássra vonatkozólag meg lehet határozni az optimális hengerdomborítást. Azaz: adott alapidomborítású hengerekkel, adott δh_0 lencsésességű szalagot csak egymással összetartozó sebességgel és magasságcsökkenéssel lehet hengerelni. A magasságcsökkenés növelésével ugyanis elsősorban a hengerlési erő növekszik, ami a hengerek rugalmas behajlását és a hengerrést növeli. A hengerlési sebesség növelése pedig elsősorban a hengerek felmelegedésével azok hőtágulását növeli, illetve a hengerrést szűkíti. A 4. ábra ezt szemlélteti pozitív, planparallel és negatív köszörrült alapidomborítás esetére.



4. ábra. A domborítás „kiegyenesítéséhez” szükséges F_{hj} hajlítóerő

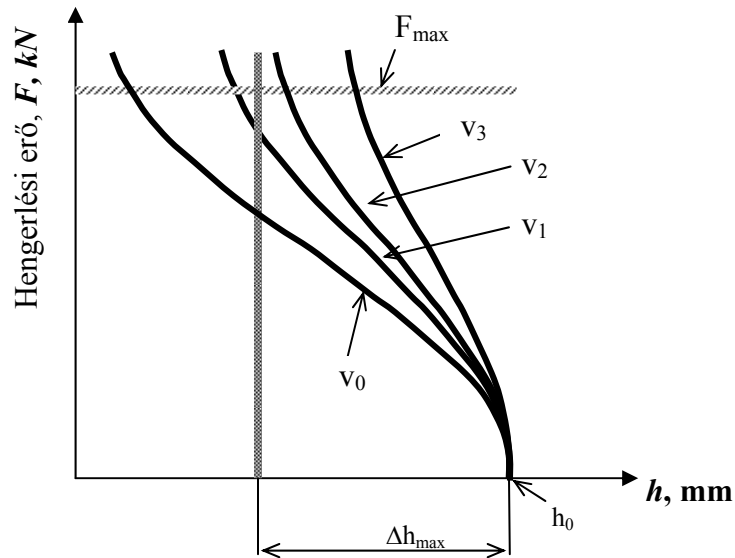
F_{h0} : a hődomborodás „visszanyomásához” szükséges erő

F_{y0} : a köszörült alapidomborítás „kiegyenesítéséhez” szükséges erő

$v_3 > v_2 > v_1 > v_0$; $v_0 \approx 0$ (léptető üzemmód)

Az ábrán $F_{hj(y_0)}$ a köszörült alapidomborítás "kiegyenesítéséhez" szükséges erőt jelenti (negatív alapidomborítás esetén ez virtuális erő), a legyezőgörbe metszékei pedig a hődomborodás visszanyomásához szükséges erőket jelölik ki. Az ábra alapján a síkfekvésű szalag geometriai feltételének megfelelő hengerrés kialakításához szükséges hengerlési erő meghatározható.

Adott szalagfeszítéskor a hengerlési erő – amennyiben a többi paramétert állandónak tekintjük – elsősorban a sebesség és az alakváltozás függvénye (5. ábra), tehát a hengerlési munkapont a szükséges erő és a képlékenységi görbe (tényleges erő) **közös** megoldása. Az ábrába az áthúzási (megcsúszási) feltételből adódó maximális magasságcsökkenést jelző vonalat is berajzoltam.



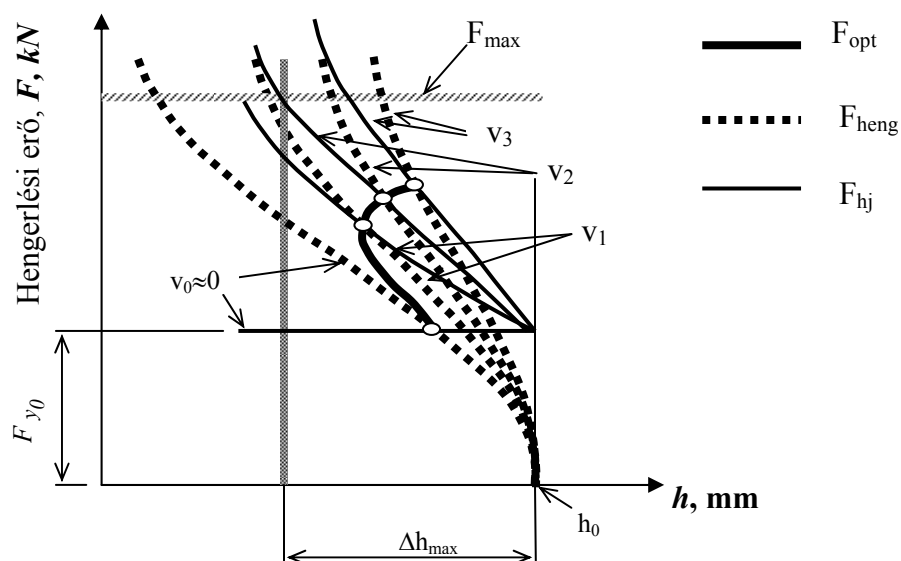
5. ábra. A szükséges hengerlési erő különböző hengerlési sebességek esetén

$v_3 > v_2 > v_1 > v_0$; $v_0 \approx 0$ (léptető üzemmód)

$F_{\max}$: a gépészeti szempontból megengedett legnagyobb hengerlési erő

$\Delta h_{\max}$: a megcsúszási feltételhez tartozó magasságcsökkenés

A hengerlési munkapont grafikus meghatározásának elvét az 6. ábra szemlélteti. Az ábrán az azonos hengerlési sebességű görbék metszéspontjait, az úgynevezett munkapontokat összekötő vastag vonal a hengersornak a vizsgált szúráshoz vonatkozó **jelleg-görbéje**. Síkfekvő (alakhű) termék gyártásához a munkapontot/munkapontokat (vagyis az összetartozó hengerléstechnológiai paramétereket) tehát csakis ezen a vonalon szabad felvenni.



6. ábra. A hideghengerlés újszerű karakterisztika diagramja

$y_0 > 0$, azaz a köszörült alapdomborítás pozitív.

A befutó szalag keresztmetszete planparallel.

$v_3 > v_2 > v_1 > v_0$; $v_0 \approx 0$ (léptető üzemmód); $v_3 = v_{max}$

F_{opt} : a síkfekvés feltételéhez tartozó **szükséges** hengerlési erő

F_{heng} : a képlékenységi görbéből meghatározható **tényleges** hengerlési erő

F_{hj} : a hengerrés alakváltozásából meghatározható, a hengeralkotó „kiegyenesítéséhez” **szükséges** hengerlési erő

F_{y0} : a köszörült alapdomborítás „kiegyenesítéséhez” **szükséges** erő

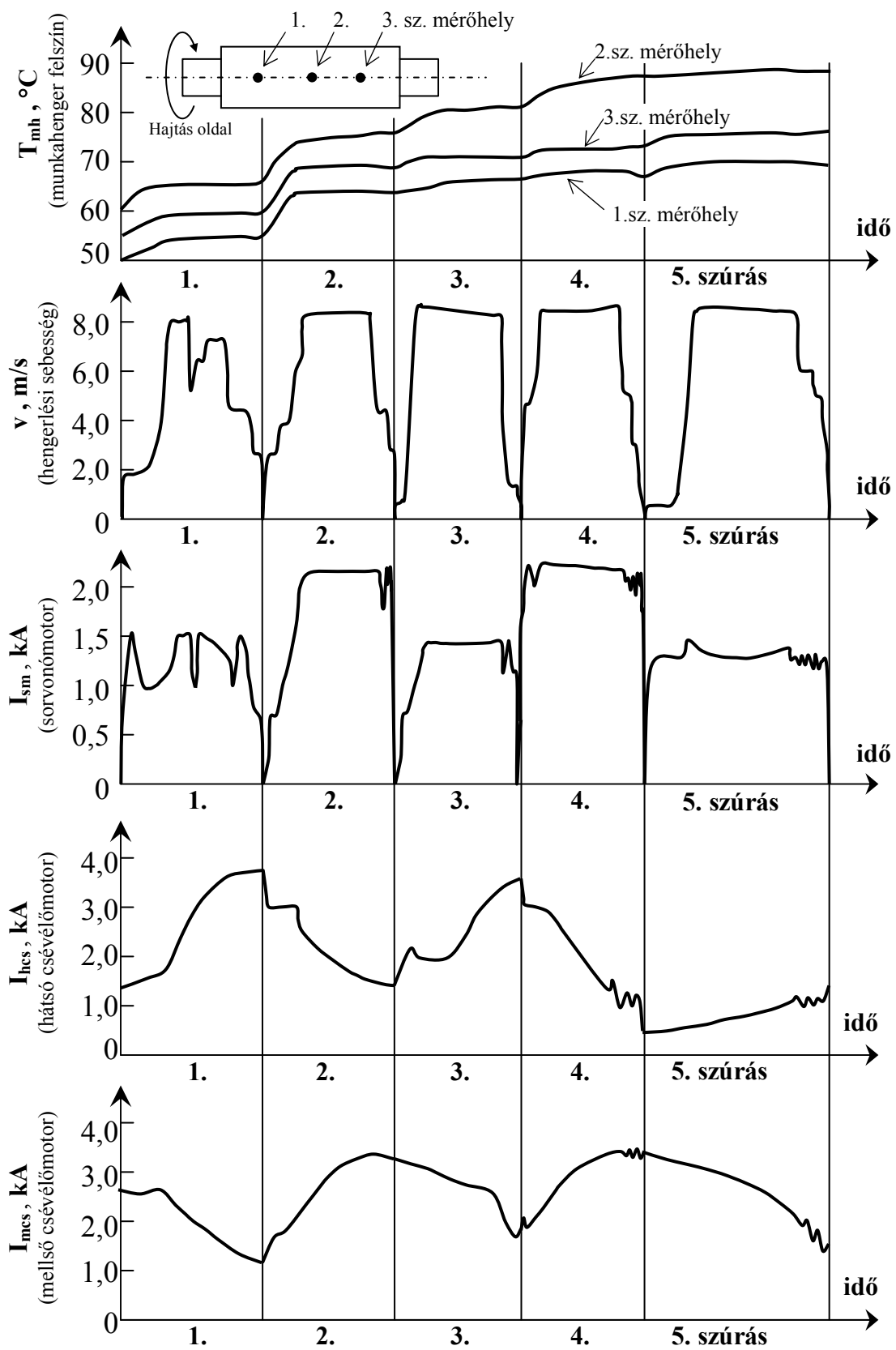
2.1.2 Üzemi kísérleti hengerlések

A hideghengerlési technológia optimalizálásához kialakított fizikai és matematikai elméleti összefüggések helyességének ellenőrzésére a *Miskolci Egyetem Kohógéptani és Képlékenyalakítástani Tanszékének* kutatócsoportja – az üzemi szakemberek hathatós közreműködése mellett – több hazai hideghengerműben kiterjedt és nagyszámú üzemi kísérletet végzett. Ezen kísérletsorozat magába foglalta az acél, mind pedig az alumíniumötvözetek hideghengerlését, és ezen belül kitért a különböző szélességek (például ≈ 400 , ≈ 1200 és ≈ 1600 mm), valamint vastagságok (beleértve a fólia mérettartományát is) vizsgálatára [10].

A kísérleti, de üzemszerű körülmények között végzett hengerlések alatt általában rögzítették, illetve folyamatosan mérték és regisztrálták az alábbi paramétereket:

- Tekercs adatok (minőség, méret)
- Geometriai adatok (szűrősterv, hossz- és szélesség menti szalagvastagság-eltérések, hengerek köszörült alapdomborítása)
- Szalagfeszítő-erők
- Hengerlési erő, esetenként hengerlési nyomaték
- Motoráramok, feszültségek, gerjesztések és fordulatszámok (beleértve a sorvonómotort illetve motorokat és a csévélmotorokat is)
- Hengertest felületi hőmérséklete (egy alkotó mentén három helyen)
- A hengerelt szalag hőmérséklete
- A hűtő-kenőanyag minősége, mennyisége és hőmérséklete (feljövő és visszafolyó)
- Időadatok

A regisztrált adatok felhasználásával mintaként a 7. ábrán egy átrajzolt oszcillogrammot mutatok be. Ezen az idő függvényében szemléltetem egy 5 szűrőses acélhengerlési technológia néhány jellemző paraméterének szűrősonkénti változását. Általában az üzemi technológiákra az a jellemző, hogy a hengerlési sebességet valamilyen egymást követő szűrőben megközelítőleg állandónak és a gépészeti maximumhoz közeli szinten kívánják tartani, ugyanis a mennyiségi szemléletből ez következik. Ennek egyik egyenes következménye, hogy a hengertest felületi hőmérséklete az egymás után következő szűrőben nem állandó, hanem általában egy-egy tekercsen belül szűrőről szűrőre haladva növekszik. Hideghengerléskor viszont –, ha nincs a hengerállványon automatikus hengerrés-szabályozó berendezés –, a hengerek hőállapotának stabilizálására kell törekedni annak érdekében, hogy a nagy tömegű és így nagy hőtehetetlenségű (nagy időállandójú) hengerek hődomborodás-változása ne befolyásolja a hengerrést, illetve a hengerelt szalag szélesség menti vastagság-eltérését.



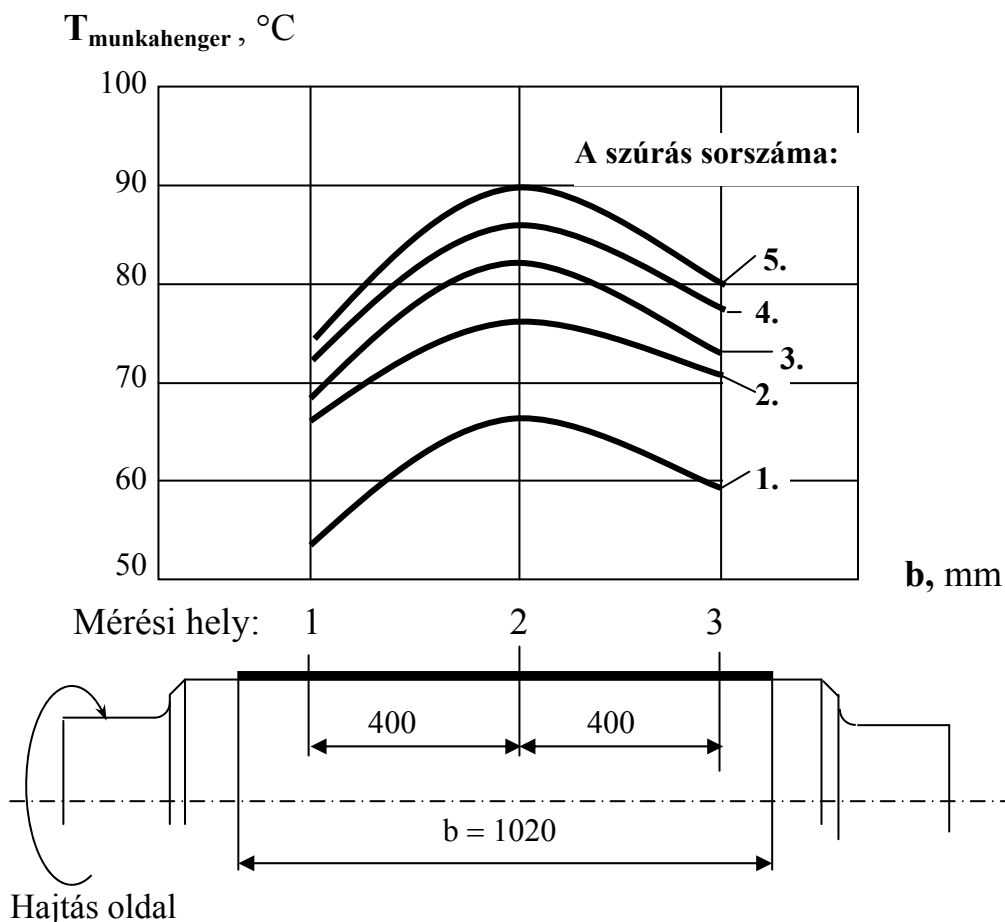
7. ábra. Regisztrált hengerléstechnológiai paraméterek.

$b = 1020$ mm. Anyagminőség: St12. Kiinduló vastagság: 4,0 mm.

Szűrásterv: 4,0→3,35→2,8→2,5→2,2→2,0 mm.

A szélesség mentén azonos alakváltozást létrehozó hengerrés kialakításához alapvető feltétel, hogy a hengerek hőmérséklete helyileg is és időben is azonos legyen. A hőállapot stabilizálásának a hengertestbe bejutó és az abból elvezetett hőmennyiségek (hőáramok) azonossága a feltétele. A hőmérsékleti szint – vagyis a hődomborulat nagysága – bizonyos ésszerű határok között előre megválasztható, és nagysága a fejlődött és az elvont hőmennyiségek arányától függ, azonban ezt a szintet a későbbiek során – megfelelően megtervezett technológiai paraméterek előírásával – szigorúan állandó értéken kell tartani.

Annak érdekében, hogy az egymás utáni szűrásokban – ebbe beleértve valamennyi tekercs valamennyi szűrását mindaddig, amíg hengercserére nem kerül sor, más-képpen: amíg a köszörült alapdomborítás közel állandó – kialakuló hengertest-hőmérséklet illetve hődomborodás elemezhetővé váljon, a 7. ábra felhasználásával szűrásonként megszerkesztettem a 8. ábrán bemutatott $[T_{\text{munkahenger}} - b]$ görbéket.



8. ábra. Mért hőmérsékletek a munkahenger felületén
 $b = 1020$ mm, anyagminőség: St12.

Ennél az ábrázolt adatokat a szúrásen belül kialakult és relatíve állandósultnak tekinthető hőmérsékleteknél olvasták le. A 8. ábráról, és a hozzá hasonló, de más szúrásstervekre vonatkozó ábraszorozatokból megállapítható, hogy a munkahengereknek mind a felületi hőmérséklete, mind a szalagszélességre vonatkozó hőmérséklet-különbsége szúrásról-szúrásra változik. A görbéken e mellett még lényeges aszimmetria is megfigyelhető. Ezt az aszimmetriát, vagyis a hajtóoldali nagyobb hűtőhatást például a hajtóoldalon lévő szélső fűvókasor ritkításával lehetne kompenzálni.

2.1.3 Számítógéppel optimalizált technológiák

Az üzemi kísérleti hengerlések adatai alapján kialakított elméleti összefüggések felhasználásával a *Kohógéptani és Képlékenyalakítástani Tanszék* kutatócsoportja elkészített egy hideghengerlést szimuláló interaktív számítógépi programot [9,10,11]. A számítógéppel optimalizált technológiák egyik jellemzője, hogy valamennyi szúrásban a legnagyobb órateljesítményt (kapacitás kihasználást) jelentő sebességgel és az ehhez tartozó magasságcsökkenéssel lehet hengerelni.

A kiindulásként használt számítógépi program általam továbbfejlesztett változata a következőképpen működik:

A technológia optimalizálása alapadat-fájlok létrehozásával kezdődik. Ezeket célszerű minden konkrét hengersorra vonatkozóan külön-külön névvel elkészíteni.

Az adatokat az alábbi fájlokba csoportosítottam:

- Gépészeti adatok
- Hőtani adatok
- Szervezési utasítások
- Anyagjellemzők
- Technológiai adatok

A *gépészeti alapadat*-fájlból értelemszerűen egy konkrét hengersor esetén csak egy létezik. Hasonlóan csak egy fájl a *hőtani adatok* (ez a henger és a hűtő-kenőanyag fizikai paramétereit, illetve a hőátadást és hőmegoszlást befolyásoló paramétereket tartalmazza), valamint egyetlen fájl a *szervezési utasítások* nevű is.

Ez utóbbi a szoftver futásához szükséges paramétereket foglalja egybe, és az iterációk kezdő értékeit, valamint léptető függvényeit tartalmazza. Az *anyagjellemzők* nevű fájl az alakítási szilárdság négyparaméteres függvényének számításához megkívánt állandók mellett az anyag alakíthatóságára vonatkozó adatokat is tartalmazza (mikor kell lágyítani).

Példaként egy 1200 mm palástszélességű, acélszalagok alakítására alkalmas reverzáló kvartó hengersor egy-egy lehetséges „*gépészeti*”, valamint „*technológiai*” alapadat-fájljait mutatom be az alábbiakban.

GÉPÉSZETI ADATOK:

A hengersor neve: 1200-as sor

A munkahenger átmérője:	400 mm
A munkahenger palástszélessége:	1200 mm
A támhenger átmérője:	1300 mm
A támhenger csapátmérője:	850 mm
A támhengercsapágy súrlódási tényezője:	0,003
Minimális szalagfeszítő erő (mindkét oldalon):	20 kN
Maximális szalagfeszítő erő (mindkét oldalon):	110 kN
Minimális szalagfeszítő erő az első szúráásban:	30 kN
Megengedett hengerlési erő:	18000 kN
Sorvonómotor névleges teljesítménye:	$2 \times 1000 = 2000$ kW
Sorvonómotor névleges fordulatszáma:	350 1/min
Sorvonómotor maximális fordulatszáma:	750 1/min
A fogaskerék-hajtómű áttétele:	48/49 (gyorsító!)
Maximális hengerlési sebesség:	kb. 13,8 m/s
Maximális hengerlési sebesség az első szúráásban:	5,0 m/s
Minimális hengerlési sebesség:	kb. 1,5 m/s
Maximális pozitív résszabályozás:	+ 1 μ m
Maximális negatív résszabályozás:	- 1 μ m

A gépészeti adatok zömében gépkönyvi adatok. Az első szúráásra vonatkozó maximális sebesség és fékezőerő akkor 5 m/s, illetve 30 kN, ha a leadócsévélőről (és nem a munkacsévélőről) történik az első szúráásban a hengerlés.

Átcsévézés utáni első szűrésben a sebesség és a feszítőerő maximuma megegyezik a hengersori csévéző adataival. A résszabályozás pozitív és negatív maximumát vagy egy-egy konkrét értéket lehet beírni, amennyiben van ilyen berendezés a hengerson. Mivel a példaként bemutatott hengersor a vizsgálatkor nem rendelkezett résszabályozóval, ennél és a résszabályozó nélküli berendezések esetén nem zérust, hanem kis értékeket kell felvenni annak érdekében, hogy a szoftver működőképes maradjon!

TECHNOLÓGIAI ADATOK

A technológia azonosító jele: St12/2x1020-Ü.

Anyagminőség: St 12

Tekercsátmérő: 1800 mm

Szalagszélesség: 1020 mm

Kiinduló vastagság: 4,0 mm

Kész vastagság: 2,0 mm

Az alapanyag lencsésége: + 0,04 mm (40 µm)

Az alapanyag kezdő hőmérséklete: 30 °C

A munkahenger köszörült alapdomborítása: - 0,02 mm (20 µm)

Tervezett max. hengerlési sebesség: 8,0 m/s

A tervezett hengerlési sebesség tűrés-mezeje: ± 0,5 m/s

Szerepeltetni kell valamelyik adatfájlban a további paramétereket is:

Közüdők: A programban három különféle közüdöt célszerű megkülönböztetni. Ennek indokai: Az egyik közüd két egymás után hengerlésre kerülő tekercs közötti követési idő (tulajdonképpen a tekercs csere ideje). A másik közüd a két egymás utáni szűrés közötti közüd, vagyis a reverzáláshoz szükséges idő. Van olyan lehetőség is, hogy az első szűrés egy külön leadócsévélőről történjen. Ekkor az első és a második szűrés között nagyobb a közüd, mivel ekkor a szalagvéget a csévélődobnak be kell fognia [18].

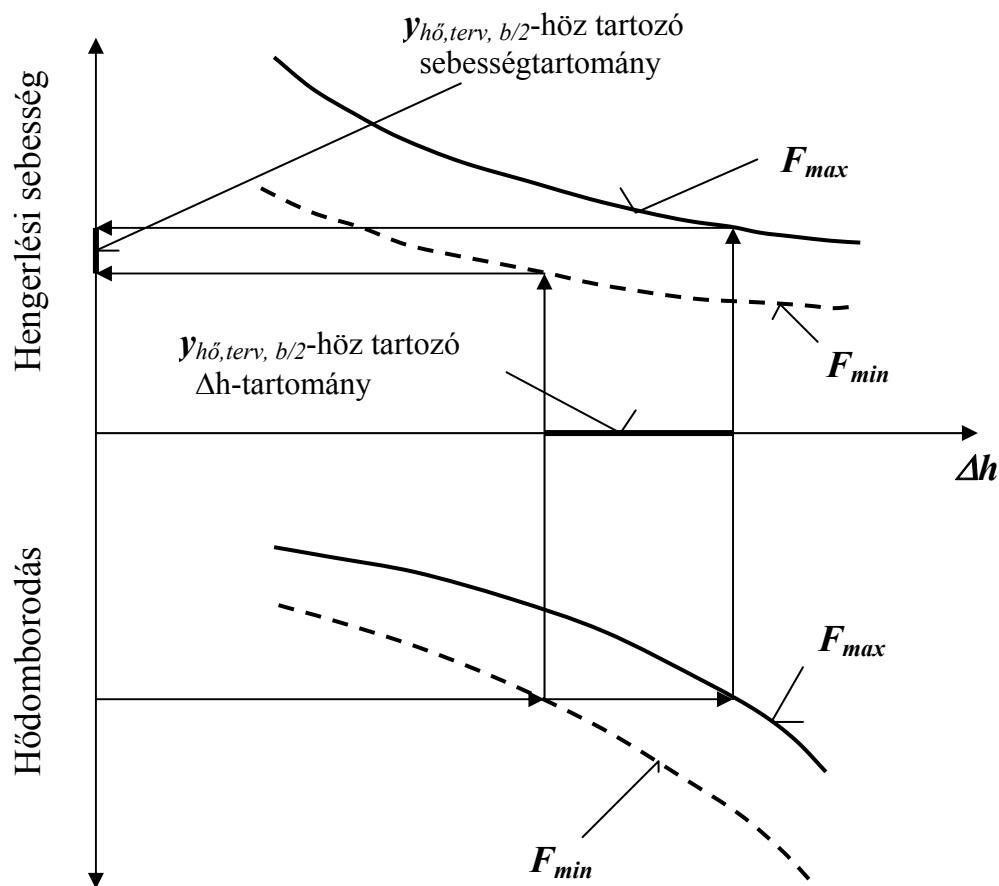
Feszítés-variáció: A program háromféle változatban futtatható. Ezek: MAX/ MIN/ VAR. A maximális (MAX) szalagfeszítéssel dolgozó szűrástervek úgy készülnek, hogy a számítógép a húzó- és fékezőerők meghatározása során vagy a gépészetileg, vagy a technológiai szempontból megengedhető maximális erőt választja.

Minimális (MIN) feszítéskor vagy a gépészetileg, vagy a technológiai szempontból alkalmazható minimális fékező- és húzóerőkkel történik a számítás. Feszítés-variáció (VAR) esetén a maximális feszítésből kiindulva, annak csökkentésével történik egy olyan megoldás keresése, amelyik a legnagyobb hengerlési sebességet engedi meg. Minden esetben érvényesül az az alapszabály, hogy egy-egy adott szúrásban az alkalmazott fékezőerő nem lehet nagyobb az előző szúrásban beállított húzóerőnél (különben a tekercsmenetek egymáson megcsúsznának, ami felületi rongálódást okozna és a hajtások szinkronját is felborítaná).

A *súrlódási tényező* függvénykapcsolatát leíró összefüggés állandóit szintén aktualizálni kell. Ez az összefüggés a hűtő-kenőanyag kenőképessége, nyomás- és nyúlásképessége mellett a fajlagos felületi nyomást (az alakítási ellenállást), valamint a hengerfelület érdességét is figyelembe kell, hogy vegye.

Egy szúrásterv készítése a megfelelő adatfájlok beolvasásával kezdődik. A programfutás elindítását egy tervezett hődomborodási számérték (akár tetszőleges) felvétele előzi meg. Ha ez az érték nagyon messze esik az iterációk után megtalált optimumtól, akkor értelemszerűen a szoftver futási ideje igen hosszú is lehet. A tényleges munkamenetben a készmérettől kezdődően (az utolsó szúrás felől kezdve) dolgozik a program; így a hengerrésből kifutó névleges méret mindig adott. Első lépés: egy belső függvénnyel generált magasságcsökkenés felvétele. Ennek nagysága olyan, ami biztonsággal ad megoldást. A számítás úgy folytatódik, hogy a program alulról közelíti a tervezett hengerlési sebességet. Ha túllép rajta, módosítja vagy a magasságcsökkenést, vagy a szalagfeszítéseket (9. ábra). Amennyiben megtalálta a kívánt sebességhez tartozó magasságcsökkenést, megvizsgálja az ebben az esetben kialakuló hődomborodás értékét. Ha ez kisebb, mint az előre beadott – azaz „*kell*” – érték, akkor negatív, ellenkező esetben pozitív résszabályozást ír elő. Résszabályozó berendezés hiányában a tervezett sebesség kerül módosításra.

A megkívánt hődomborodás elérése után a program ellenőrzi a sebességet, illetve annak viszonyát a korlát-értékekhez. Ha szükséges, új sebességet vesz fel, majd egy ehhez számított új kezdő magasságcsökkenéssel előlről kezdi a számítást.



9. ábra. A számítógépi optimalizációs modell működésének alapelve

A szóbanforgó szűrés adatainak letárolása után a számítógép a következő, vagyis az utolsó előtti szűrés paramétereinek meghatározásába kezd. A számítás mindaddig folytatódik, amíg az első szűrésre (a legvastagabb, vagy másképp kiinduló méretű szalag hengerlésére) sor nem kerül. Mivel ez a „maradék” magasságcsökkenés, úgy lehetséges, hogy az ehhez tartozó sebesség és hődomborodás nem felel meg az előírtaknak. Ilyenkor ennek ellenére el lehet fogadni a szűrástervet, vagy – és ez az ajánlatos – lehetőség van az első szűrésre érvényes kívánt hődomborodás korlátjának fellazítására. Ha a szűrástervet elfogadjuk, megtörténik a lehülés számítása a sebességek, a vastagságok és a szűrásonkénti szalagfelmelegedések ismeretében.

Az összefoglaló adatok kiírása előtt ellenőrzésre kerül valamennyi, eddig még nem ellenőrzött korlát betartása. Ha valamelyik szűrés adatai között a szoftver korlátán kívüli értéket talál, azt jelzi. Ezután a program kezelőjének kell döntenie arról, hogy ennek ellenére elfogadja-e az eredményeket, vagy új futtatást kezdeményez.

A hengerléstechnológiai adatok szúrásonkénti kinyomtatásakor a hibaüzenetek is megjelennek.

Az előzőekben ismertetett számítógépi modell lehetővé teszi azt, hogy segítségével az előírt peremfeltételeknek (megengedett maximális hengerlési erő, teljesítmény és nyomaték, hengerlési sebesség-tartomány, a megcsúszási veszélyt elkerülő maximális magasságcsökkenés, szalaghúzó- és -fékezőerő korlátai, résszabályozás korlátai stb.) eleget tevő, a reverzáló hengerlési üzemmód sajátosságait figyelembe vevő (minden következő szúrással az előzőekben „beállt” hődomborodású hengerekkel történik, és a szalag szúrásról-szúrássra haladva felváltva melegszik és hűl), valamint a síkkifekvés feltételét is betartó hideghengerlési technológiát alakítsunk ki.

A következőkben optimalizálási lehetőségeket mutatok be egy meglévő, 1200 mm palástszélességű hideghengersorra vonatkozóan, példákon keresztül. A hengersor alapvető gépészeti paramétereit korábban ismertettem. A technológia optimalizálásakor a viszonyítási alap a szokásos üzemi technológia. Egy kiválasztott, és a továbbiakban viszonyítási alapként tekintett hengerlési technológia paramétereit a *2.1.2 fejezetben* ismertettem. Ugyanitt szerepeltek a hengersor gépészeti alapadatai, valamint a bázisul választott technológia mért paramétereit. Példáimban az anyagminőség mindig azonos: *St 12* lágyacél. A kiinduló névleges vastagság szintén minden esetben 4,0 mm (melegen hengerelt), a névleges készméret pedig 2,0 mm. Közberső lágyításra ennél az anyagminőségnél, ekkora összes alakváltozás mellett nincs szükség.

Az üzemi technológia szerinti hengerlés 5 szúrással történik. A szúrásonkénti azonos és maximális (kb. 8 m/s) hengerlési sebesség ugyan elég nagy teljesítőképességet eredményezett, azonban a nem megfelelő, sőt a hődomborodás változása miatt folyamatosan változó hengerrés miatt a felcsévéltszalagban belső feszültségek keletkeznek és maradnak. A tényleges hengerlési kapacitás a mért adatok szerint kb. 35...40 t/óra, mivel egy-egy szalagtekercs kihengerlésének teljes periódusideje sok párhuzamos vizsgálat eredményeképpen kb. 25-30 percre adódott. Az elméletileg elérhető 20...25 perc/tekercs periódusidő esetén ez a kapacitás akár mintegy 50...60 t/óra is lehet [18].

A megadott jellemzők (például: tekercsméret, köszörült hengerdomborítás, alapanyag lencsésége, kenőanyag jellemzői stb.) megtartásával a szintén ötszűrő, és ezen belül változatlanul az üzemi technológia szerinti szűrőnkénti magasságcsökkenések rögzítése mellett a számítógépi szoftverrel kiszámított hengerléstechnológiai paramétereket a 3/a. táblázat rendszerezi. A technológiai változat dolgozatomban a kódjelet kapott. Ezek szerint az ötszűrő, résszabályozó nélküli (ez a vizsgálatkori állapot) hengerléskor a síkfekvés feltételét is kielégítő technológia szerint a hengerlési sebesség a legelső szűrőben viszonylag alacsony, de szűrőnként fokozatosan nő, és csak az utolsó szűrőben éri el a jelenlegi üzemi gyakorlatban alkalmazott 8...9 m/s-os felső határt. Az elméleti kapacitás ekkor 57 t/óra, vagyis gyakorlatilag megegyezik az üzemi technológiához tartozó elméleti óraterheléssel. A táblázatból az is kiolvasható, hogy a munkahengerek kialakuló hődomborodása az utolsó négy szűrőben teljesen azonos (+ 20 μm), ettől csak az első szűrőben valamivel kisebb (+ 14 μm). Ugyanilyen jellege van a munkahengertest hőmérséklet-növekedésének (kb. 30, illetve 21 °C), és a hengerpaláston mérhető hőmérséklet-különbségnek is (8, illetve 5,6 °C). A teljes azonosságot további számítógépi futtatással lehet elérni. Ezt a technológiai variációt a kódjellel azonosítottam.

**ÜZEMI TECHNOLÓGIÁN ALAPULÓ, DE *OPTIMALIZÁLT*
HENGERLÉSTECHNOLÓGIAI PARAMÉTEREK**

A technológia kódjele: a

Alapadatok

3. táblázat

Paraméter megnevezése	Paraméter értéke
Hengersor:	1200-as
Alapanyag:	St12; melegen hengerelt.
Szalagszélesség:	1020 mm.
Tekercsátmérő:	1800 mm
Az alapanyag névleges vastagsága:	4,0 mm.
Alapanyag lencsésége:	+ 0,040 mm (40 µm)
Névleges készméret:	2,0 mm
Tervezett maximális hengerlési sebesség:	8,0 m/s
A hengerek köszörült alapdomborítása:	- 0,020 mm (- 20 µm)
Résszabályozás mérettartománya (+/-):	NINCS / NINCS
Szalagfeszítőerők (húzás/fékezés):	MAX / MAX.
Tervezett (előzetesen felvett) hődomborítás:	+ 0,020 mm (20 µm)
A hűtő-kenő emulzió neve:	GEROZAL W; feljövő (kezdő) hőmérséklete: 35 °C

Számított összefoglaló adatok:

Szúrásszám: 5
Tekercssúly: 159,42 kN
Az alapanyag hossza: 498 m
Összes közidő: $150\text{ s} + 4 \times 30\text{ s} = 270\text{ s}$
Elméleti óraterheltség: 57,08 t/h

Paraméterek	A szúrá sorszáma				
	1.	2.	3.	4.	5.
Kilépő vastagság, mm	3,35	2,83	2,47	2,21	2,00
Magasságcsökkenés, mm	0,65	0,52	0,36	0,26	0,21
Megengedett magasságcsökkenés, mm	5,83	5,49	5,16	5,06	5,08
Logaritmikus alakváltozás, -	0,176	0,171	0,134	0,112	0,099
Hengerlési sebesség, m/s	3,23	4,19	5,69	7,18	8,57
Súrlódási tényező, -	0,085	0,083	0,080	0,079	0,080
Hengerlési erő, kN	3214	3723	3494	3238	3083
Hengerlési nyomaték, kNm	38	54	46	39	35
Hengerlési teljesítmény, kW	776	1425	1624	1757	1892
Fékezőerő, kN	30	110	110	110	110
Húzóerő, kN	110	110	110	110	110
Résszabályozás nagysága, μm	0	0	0	0	0
Kilépő szalaghőmérséklet, $^{\circ}\text{C}$	40,1	52,8	64,2	74,5	84,2
Kilépő szalag lencséssége, μm	+ 34	+ 28	+ 25	+ 22	+ 20
A szalag hőmérsékletének növekedése, $^{\circ}\text{C}$	10,1	12,9	11,8	10,9	10,3
A henger hődomborodása, μm	+ 14	+ 20	+ 20	+ 20	+ 20
A hengertest közepének hőmérséklete, $^{\circ}\text{C}$	56,6	65,0	65,6	65,3	65,5
Hőmérsékletkülönbség a hengerpaláston, $^{\circ}\text{C}$	5,6	7,8	8,0	7,9	7,9

Az 3/a. táblázatból az is látszik, hogy ennél a technológiánál a motorteljesítmény nincs teljes egészében „kihasználva”, ugyanis a maximum – és ez is csak az utolsó, nagy sebességgel végzett szúrában jelentkezik – csak kb. 1900 kW. Ha olyan technológiát keresünk, amelynél a sorvonómotor 2000 kW-os névleges teljesítményét éppen ki akarjuk terhelni, a 4. táblázat **b** kódjellel azonosított oszlopában összefoglalt hengerléstechnológiai alapparamétereket kapjuk. A szúrásonkénti adatokat a 4/a táblázat tartalmazza. Látható, hogy ehhez a motorkiterheléshez más köszörült alapdomborítású munkahengert kell alkalmazni. Az elért sebességszint valamennyi szúrában nagyobb, és növekedése: 3,9 $\rightarrow$ 9,2 m/s. A technológia alkalmazásával nagyobb hőmérsékletek keletkeznek és nagyobb az elérhető óraterjesztés is.

TECHNOLÓGIA-OPTIMALIZÁLÁSI VÁLTOZATOK FŐBB PARAMÉTEREI

Hengersor: 1200-as.

Anyagminőség: St12.

Tekercsátmérő: 1800 mm.

Szalagszélesség: 1020 mm.

Kiinduló névleges vastagság: 4,0 mm.

Névleges készméret: 2,0 mm.

4. táblázat

A technológia kódjele:	<u>Ü</u>	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>d</u>	<u>e</u>	<u>f</u>
A technológia jellemzője:	üzemi	csak a sebes-ség opti-mali-zálva	motor kiter-helve	részsa-bályo-zás feltéte-lezve	⇒	előző mellett még új motor is feltéte-lezve	⇒
Részszabályozó berendezés	NINCS	⇒	⇒	VAN	⇒	⇒	⇒
Sorvonómotor	meglévő	⇒	⇒	⇒	⇒	ÚJ	⇒
Szűrőszám	5	5	5	5	5	5	3
Köszörült alapdomborítás, μm	- 20	- 20	- 25	- 20	- 20	- 50	- 100
Kialakuló hődomborodás, μm	változik	+ 20	+ 23	+ 28	+ 24	+ 43	+ 55
Hengerlési sebesség, m/s	≈ 8	3,2 → 8,6	3,9 → 9,2	$\approx 8,0$	$\approx 7,0$	$\approx 12,0$	$\approx 8,0$
Elméleti kapacitás, t/óra	max. 60	57	64	74	67	96	111
Szalaghőmérséklet a csévélőn, °C	70...100	84	86	88	86	91	91
A munkahengertest hőmérséklete, °C	60...90	65	70	77	71	100	117
Hőm. különbség a munkahengeren, °C	6...19	8	9	11	9,5	17	21,5
Szükséges motorteljesítmény, kW	≈ 1800	1900	2000	2300!	2000	3500	3500
Egységnyi motorteljesítményhez tarto-zó elméleti kapacitás, t/kWóra	0,033	0,03	0,032	0,032	0,034	0,027	0,032
MEGJEGYZÉS:	-	üzemi Δh -sor, de sík-fekvő	opt. Δh -sor mellett max. sebes-ség	majd-nem üzemi v , de a motor túlter-helve	v csök-kentve a mo-tor ter-hel-hetősé-géig	v nagy	üzemi v , és ekkor a szűrő-szám csök-ken

Számított hengerléstechnológiai paraméterek

A technológia kódja: **h** (résszabályozás nincs, motor kiterhelve)

Köszörült alapidomborítás: - 25 μm

Elméleti kapacitás: 63,54 t/óra

4/a. táblázat

A szűrés száma	1	2	3	4	5
Kilépő szalagvastagság, mm	3,37	2,82	2,48	2,23	2,00
Magasságcsökkenés, mm	0,63	0,55	0,34	0,25	0,23
Hengerlési sebesség, m/s	3,93	4,69	6,68	8,62	9,20
Hengerlési erő, kN	3161	3810	3458	3165	3214
Hengerlési nyomaték, kNm	37	56	45	38	38
Hengerlési teljesítmény, kW	915	1655	1875	2035	2159
Fékezőerő, kN	30	110	110	110	110
Húzóerő, kN	110	110	110	110	110
A kilépő szalag hőmérséklete, °C	40,2	53,7	65,0	75,0	85,6
Hődomborodás, μm	+ 17	+ 23	+ 23	+ 23	+ 24
Szükséges résszab. nagysága, μm	0	0	0	0	0
Munkaheng. hőm.növekedése, °C	25,3	35,3	34,7	33,9	36,1
M.heng.palást hőm.különbsége, °C	6,6	9,2	9,0	8,8	9,4

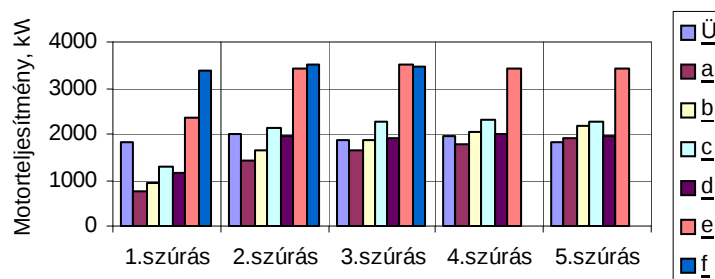
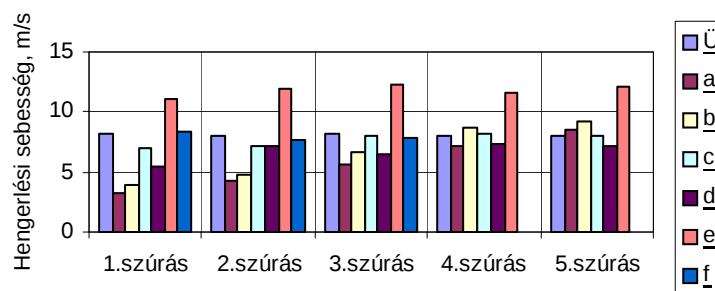
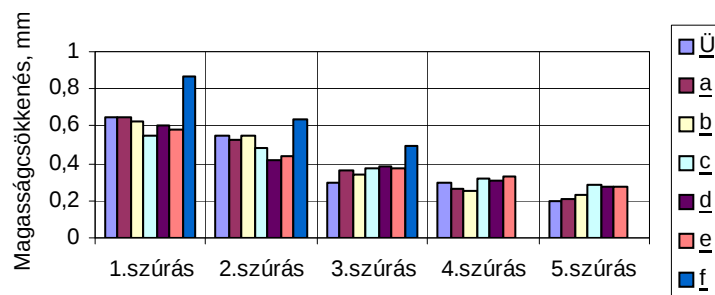
A 4. táblázat **c** és **d** oszlopaiban olyan technológiák alapparamétereit mutatom be, amelyeket csak akkor lehet alkalmazni, ha a hengerrés szabályozható. A számításaimban a szabályozhatóság mértékét -200 és $+200$ μm között tételeztem fel. Ez az érték-intervallum a hasonló adottságú hengersoroknál elfogadott. A **c** oszlop azt az esetet szemlélteti, amikor a 8 m/s-os sebességszintet kívánjuk elérni, azonban látható, hogy ekkor a sorvonómotor már túlterhelődne. (Megjegyzem, hogy a villamosmotorok rövid ideig a névleges terhelés felett is járathatók, azonban a hosszú szűrásidők közötti viszonylag rövid közidők alatt nincs lehetősége a motornak üzemi hőmérsékletére visszahűlni, ezért hideghengersorokon nem célszerű a motort névlegesnél nagyobb teljesítmény leadására készíteni.) Annak érdekében, hogy a motorteljesítmény „csak” a névleges értéket érje el, a sebesség a kb. 7 m/s-ot nem lépheti túl.

A továbbiakban a 4. táblázat **e** és **f** kódjelű oszlopaiban olyan technológiák számított alapparamétereit mutatom be, amelyeket csak akkor lehet alkalmazni, ha a sorvonómotort nagyobbra cserélik. Ennek a cserének akkor lehet reális alapja, ha a motornagyság nem teszi szükségessé a kapcsolóelemek cseréjét. Ebből kiindulva, feltételezésem szerint a jelenlegi motor által leadható maximális teljesítményt „névleges”-re cserélve (a túlterhelési tényezőt 1,75-re becsülve), vagyis egy $1,75 \cdot 2000 \text{ kW} = 3500 \text{ kW}$ -os sorvonómotort feltételezve kerestem optimális technológiákat. Egy feltételezett motorcsere esetén értelemszerűen a résszabályozás is megoldandó.

Az első ilyen nagyobb motorteljesítményt igénylő technológia alapadatait az **e** oszlop foglalja össze. Ekkor a szűrőszámot még változatlanul 5-nek kívántam megtartani. Ebben az esetben a síkfekvés feltételének betartásához valamennyi szűrásban nagy, mintegy 12 m/s-os hengerlési sebesség tarozik, és a hőmérsékletek is megemelkednek. Az elméleti kapacitás természetesen jelentősen megnövekszik. A munkahengerek köszörült alapdomborítását nagyobb negatív értékűre kell választani, ami jelen esetben – 50 μm .

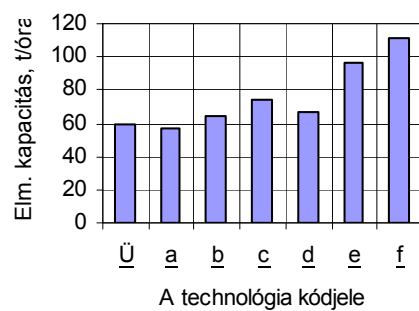
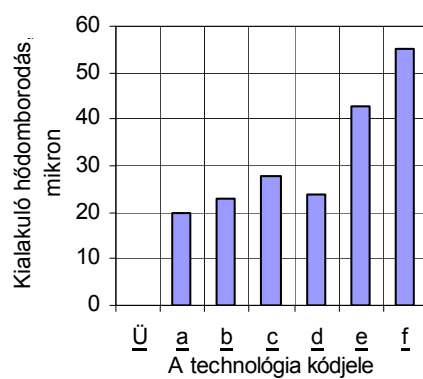
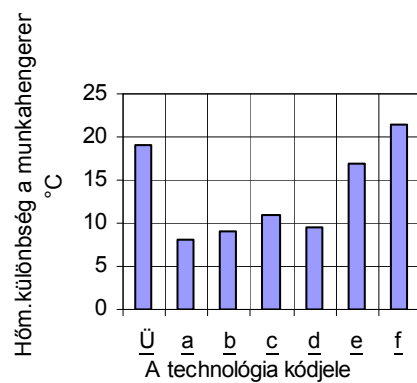
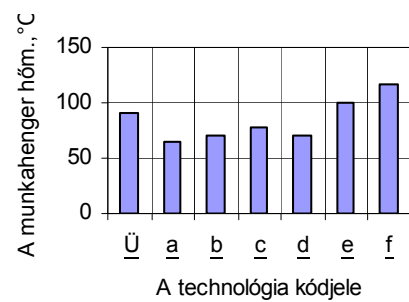
A hengerlési sebesség „visszavételének”, azaz a szokásos és gépészetileg is lehetséges kb. 8 m/s-os sebesség-szint megvalósításához csak kevesebb szűrás árán lehet eljutni. Ez a klasszikus szemlélettel nehezen érthető, de a hőáramok és hődomborodás azonosságához, vagyis a síkfekvés feltételének a betartásához a hengerléstechnológiai paraméterek igen rögzített összhangja tratozik. A megvalósítás lehetőségét a 4. táblázat **f** kódjelű oszlopában lévő alapadatok betartása jelenti. A háromszűrásos hengerléshez – 100 μm alapdomborítású hengerek kellenek, és az elméleti kapacitás elérheti a kb. 110 t/óra értéket is.

Az összehasonlíthatóság érdekében a technológia-optimalizálás fenti „lépcsőit” oszlopdiagramokon is bemutatom. A 10. ábra a magasságcsökkenések, a hengerlési sebességek és a szükséges motorteljesítmények szűrásonkénti értékeit szemlélteti.



10. ábra. Az egyes optimalizációs változatokhoz tartozó hengerléstechnológiai paraméterek szűrásonkénti változása

A technológia kódjelei (**Ü, a, b, ... f**) a 4. táblázat szerint értelmezhetők. A 11. ábrában az optimalizálás egyes „lépcsőihöz” tartozó, mintegy összesített technológiai paraméter változásának a trendjét mutatom be. Ezek: a munkahenger palástjának hőmérséklete a hengertest közepén, a hőmérséklet-különbség ugyanitt és a palást szélén (pontosabban a szalag szélén), a kialakuló hődomborodás, valamint az elméleti kapacitás. Az **Ü** kódjelű üzemi technológiánál több tekercs hengerlése során mért adatok szórásmezejét ábrázoltam, de a kialakuló hődomborodáshoz nem tudtam adatot hozzárendelni, mivel az állandóan és igen széles tartományban változott.



11. ábra. Az egyes optimalizációs változatokhoz tartozó összesített hengerléstechnológiai paraméterek

Ismételten ki kell hangsúlyozni, hogy a síkfekvés feltételének kielégítéséhez más-más technológia tartozik akkor, ha például más a melegszalag lencsésége, vagy más a beépített hengerek köszörült alapdomborítása. Számításaimat minden esetben 1 %-os pozitív alapanyag-lencséség feltételezésével végeztem, ami annyit jelent, hogy a például 4,0 mm-es névleges méretű alapanyagon a szalag közepe és széle között 0,040 mm vastagság-különbséget tételeztem fel.

Általánosságban megállapítható, hogy a résszabályozás hiánya miatt a hengerlési sebesség több (esetleg valamennyi) szúrásban alatta marad a gépészetileg megvalósítható, és általam is tervezett $8 \pm 0,5$ m/s-os értéknek.

2.1.4 A technológiai és a gépészeti paraméterek kapcsolata

Az interaktív technológia-tervező módszer nem csak arra alkalmas, hogy egy adott hengersor esetén optimalizálja a technológiát, hanem segítségével meghatározhatók egy optimális technológia kivitelezéséhez szükséges berendezés (hengersor) legfontosabb ***gépészeti paramétere*** is. Ily módon megállapítható a célszerű sebességtartomány, a minimális és maximális feszítőerő, a kifejtendő maximális hengerlési erő és nyomaték, a szükséges motorteljesítmények, a hűtő- kenő közeg megkívánt hűtőképessége, a köszörült alapdomborítás, a hengerrés-szabályozó berendezés működési tartománya stb.

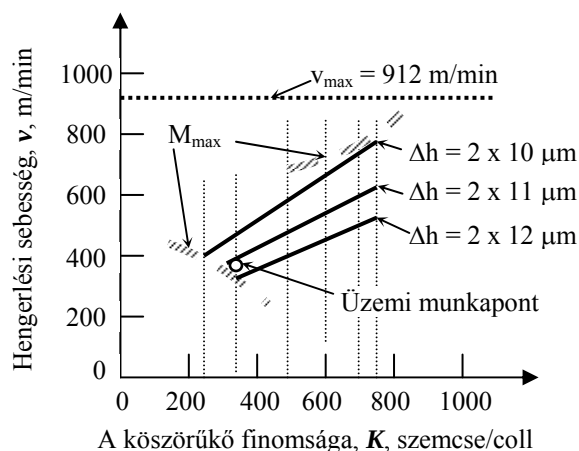
Csak az így kiszámított adatok alapján lehet teljes objektivitással eldönteni azt, hogy egy adott termékválaszték esetén a hengersor jellemző gépészeti paramétereit hogyan és milyen értékben érdemes megválasztani illetve korlátozni. A vezérméreteket (amelyekből nagy a rendelt mennyiség) hengerléséhez célszerű a legnagyobb elméleti óraterjesítménynek megfelelő paraméterekkel rendelkező gépi berendezést választani, illetve az esetleges rekonstrukciót így irányítani.

A számított értékek felhasználásával megítélhető az is, hogy a kisebb tételsúlyok gyártásakor az előzőek szerint megválasztott hengersor elméleti óraterjesítménye mennyivel marad el az elérhető elméleti maximumtól.

A számítógépi modellel kimutatható, hogy az eddig általában rendszerszerűen nem vizsgált technológiai alapparaméter: a **hengerek felületi érdessége** is meghatározó szerepet játszik, különösen fóliahengerléskor. Ilyen vékony méreteknél ugyanis az alakváltozási hőmennyiséghez képest a relatív felületi sebességből (hátramaradás és előresietés) származó hőmennyiség számottevő, tehát az ebből a hengertestekbe bejutó és ott hődomborulatot okozó hányadukat pontosan ismerni, illetve azok nagyságát tervezni kell annak érdekében, hogy a szalag szélessége mentén az egyenletes alakváltozás feltételét a szűrés eleje és vége között (fóliahengerléskor a szalag hossza eléri a kilométeres nagyságrendet és a szűrásidő az egy órát !), de az egymás után végzett különböző vastagságú darabok szűrásában is be lehessen tartani.

Javaslataim szerint, ha a munkahengerek felülete csak a hengerelhetőségi (áthúzási) feltétel által megszabott érdességű (természetesen megfelelő biztonsági tényező mellett), az így "megtakarított" súrlódási hőmennyiségnek megfelelő energiát nem szükséges befektetni (energiatakarékos hideghengerlés). Más megfogalmazás szerint a fenti megtakarított energia a szűrásonkénti alakváltozás és/vagy sebesség növelésére felhasználható.

A henger felületi érdessége a megmunkáláshoz használt köszörűkő szemcsefinomságától függ. Végző soron tehát meg kell keresni azt a legfinomabb köszörűkövet és a hozzá tartozó hengerléstechnológiai paramétereket, amelyeket alkalmazva a hőáramsűrűségek minden szűrés minden időpillanatában stacionáriusak, és kiválasztani azt a köszörült alapidomborítást (a hengeralkotó alakját), amely a szélesség menti egyenletes alakváltozás feltételét minden szűrásban kielégíti. Ezt szemlélteti a 12. ábra egy Al 99,5 anyagminőségű alumíniumfólia-hengerlési kész-szűrésre vonatkozóan. Fenti elv és az ábrán bemutatott összefüggések alkalmazhatóak vékony acélszalagok hengerlése esetében is.



12. ábra. A hengerérdesség hatása

Az ábrán a v_{max} a gépészetileg elérhető (megvalósítható) legnagyobb hengerlési sebességet jelent. Az M_{max} -nak, vagyis a kifejthető legnagyobb hengerlési nyomatéknek két határgörbéje van. Az ábrán az alsó görbe a durvább felületű hengerek alkalmazása esetén jelenti a határt, ugyanis ilyenkor a súrlódási tényező jelentősen növekszik, ami a szükséges nyomaték nagyságát fokozza és így elérhető a hajtás (motor) által kifejthető felső határérték. Az M_{max} felső határgörbéje akkor válik korláttá, amikor a súrlódási tényező csökkentése miatt keletkező kisebb hőfejlődést a síkfekvés feltételének kielégítéséhez mintegy pótolni kell a sebesség növelésével. Ebben az esetben viszont a motor jelleggörbéjének névleges fordulatszám feletti csökkenése okoz terhelhetőségi korlátot.

Az ábrán három különböző magasságcsökkenés esetére vonatkozóan számítottam ki és ábrázoltam a síkfekvés feltételéhez szükséges jelleggörbét. A kilépő fólia vastagsága mindhárom esetben ugyanakkora, azaz a duplázás szükségessége miatt: $2 \times 9 = 18 \mu\text{m}$. A felső görbéhez tartozó magasságcsökkenés: $2 \times 10 = 20 \mu\text{m}$, a középsőhöz: $2 \times 11 = 22 \mu\text{m}$, míg a legalsóhoz: $2 \times 12 = 24 \mu\text{m}$. Megállapítható, hogy ha a kívánt magasságcsökkenés nagyobb, az alkalmazandó hengerlési sebesség csökkentendő.

Összegzésül a fentiekben vázolt alapelvek komplex betartásával kialakíthatók olyan hideghengerlési technológiák, amelyeknél előre rögzíthető a maximális szalaghőmérséklet, előírható a kifutó termék maximális lencsésége, és emellett az elméleti termelőkapacitás (hengerlési sebesség) maximális.

Megállapítható, hogy a fizikai összefüggések felismerésével, helyes megfogalmazásával és alkalmazásával, azaz pusztán mérnöki tevékenységgel az alakszabályozó berendezéssel nem rendelkező hengersorokon is a síkfekvést kielégítő feltétel nagy tálati valószínűséggel betartható. Viszont alakszabályozóval már felszerelt soron az ismertetett eljárás a munkapont olyan értelmű megválasztását segíti elő, amely a minimális szabályozási beavatkozás (pl. hengerhajlítás, zónahűtés, stb.) mellett a maximális kapacitás elérését teszi lehetővé.

Mivel a hidegen hengerelt lapos termékek gyártásakor az alakhűség biztosítása is alapvető cél kell, hogy legyen, (vagyis a szalagszélesség mentén egyenletes alakváltozás és ezáltal minimális belső feszültség mellett lehessen a hengerlési feladatot megoldani) nagy jelentőségű a technológiai paraméterek optimumának keresése és azok előírása a hengerész számára.

Tapasztalataim szerint igen gyakori a rutinból, spontánul megválasztott technológiai paraméterek szerinti hengerlés, amely nem az előre kiszámított és utalványozott paraméterek alapján valósul meg. A változtatás érdekében kifejlesztett számítógépes támogatású technológia-tervező program alkalmazásának főbb ismérvei összefoglalásul az alábbiak:

Hengerrés-szabályozó automatikával fel nem szerelt hengersorokon a technológiai paraméterek (magasságcsökkenés, hengerlési sebesség, húzó- és fékezőerő, köszörült alapdomborítás, a hűtő-kenőanyag mennyisége és eloszlása stb.) véletlenszerű megválasztása miatt általában nem lehet a gépészetileg megengedhető sebességmaximumot kihasználni. Ezt az egyenlőtlen alakváltozásból eredő belső feszültségek korlátozzák.

A minőségi követelmények optimalizálási feltétele szerint a cél olyan hidegszalag hengerlése, amely a korszerű előírásokat kielégítő méretpontosságon túlmenően, a síkfekvés feltételeinek (alakhűség) is megfelel.

Az optimális hideghengerlési technológia kialakítása tehát valamennyi feltétel egyidejű betartását követeli meg, így a feladat bonyolultsága számítógépes támogatást igényel. Megfelelő számítógépi program segítségével megkereshető az összetartozó magasságcsökkenés és sebességtartomány, kiszámítható a minimális vagy maximális húzó- és fékezőerő, a kifejtendő hengerlési erő és nyomaték, a motorteljesítmények, a hűtő-kenő közeg szükséges hőelvonó képessége, megtervezhető a hengerek alapdomborítása, a hengerhajlító berendezés működési tartománya stb.

Csak a számított adatok összhangja alapján lehet teljes objektivitással eldönteni azt is, hogy adott termékválaszték esetében a hengersor jellemző alapparamétereit hogyan és milyen mértékben érdemes megválasztani. A vezérméreték gyártásához célszerű a legnagyobb elméleti óráteljesítménynek megfelelő jellemzőkkel rendelkező hengerrendszert választani. A program segítségével megítélhető egy kedvezőtlenebb adottságú (kisebb tételsúlyokból álló) termékszerkezet esetében megválasztott hengerrendszer óráteljesítménye is, vagyis megvizsgálható a hengercserék gazdaságossága.

2.2 Többfázisú hengerlés technológiájának racionalizálása a közbenső lágyítás helyének megválasztásával

A hideghengerléssel előállítandó készméretet, ezen belül a szalag vastagságát a piac határozza meg. Egy-egy üzemben belül azonban ezt az igen változatos méretskálát igyekeznek minél kevesebb számú alapanyagból előállítani, vagyis a kiinduló darabvastagságot a beszerzési és tárolási problémák miatt minimális szinten tartani. Az ebből adódó különböző nagyságú összes alakváltozást viszont az egyes anyagminőségekre jellemző keményedőképesség, vagyis a közbenső lágyítások száma (vagy éppen elkerülhetősége) korlátok közé szoríthatja. Értekezésemnek ebben a fejezetében vizsgálom, és az eredményeket általánosítom, hogy lehet-e (és mennyire) csökkenteni a fajlagos alakváltozási munkát, ha a lágyítások „helyét” optimálisan választjuk meg.

2.2.1 A matematikai modell leírása

A modell ismertetése előtt szükséges meghatározni a többfázisú hengerlés okát és fogalmát.

Többfázisú hengerlésre akkor van szükség, ha a kiinduló (h_0) és készméret ($h_{\text{kész}}$) közötti különbség, ill. az anyagminőség által determinált keményedő képesség olyan összes alakváltozást igényel (φ_{δ}), amely meghaladja a megengedett értéket (φ_{meg}).

Az összes alakváltozás megengedett értéke fölött (a nagymértékű ridegedés miatt) csak a szalagszél berepedésének fokozott veszélyével alakítható tovább az anyag, ráadásul nagymértékben megnő az alakításhoz szükséges munka mennyisége.

A készméret jó minőségű és kisebb hengerlési energia ráfordítással történő eléréséhez szükség van tehát közbenső lágyításra, amely lecsökkenti az alakítási szilárdságot, ezzel a készméret eléréséig szükséges további szúrások alakítási munka igényét.

Többfázisú hengerlést tehát akkor alkalmazunk, ha a készméret eléréséig közbenső lágyítás(ok) szükséges(ek), amelynek oka $\varphi_{\delta} \geq \varphi_{\text{meg}}$.

A hengerlési fázis ennek megfelelően azon szúrások összességét jelenti, amelyekkel egy szükséges közbenső lágyításig végezhető alakváltozás.

Leggyakoribb a kétfázisú (vagyis 1 közbenső lágyítást tartalmazó) hengerlés, de előfordul 2 lágyítást igénylő alakváltozású hengerlési feladat is, amelyet ennél fogva három fázisúnak nevezünk.

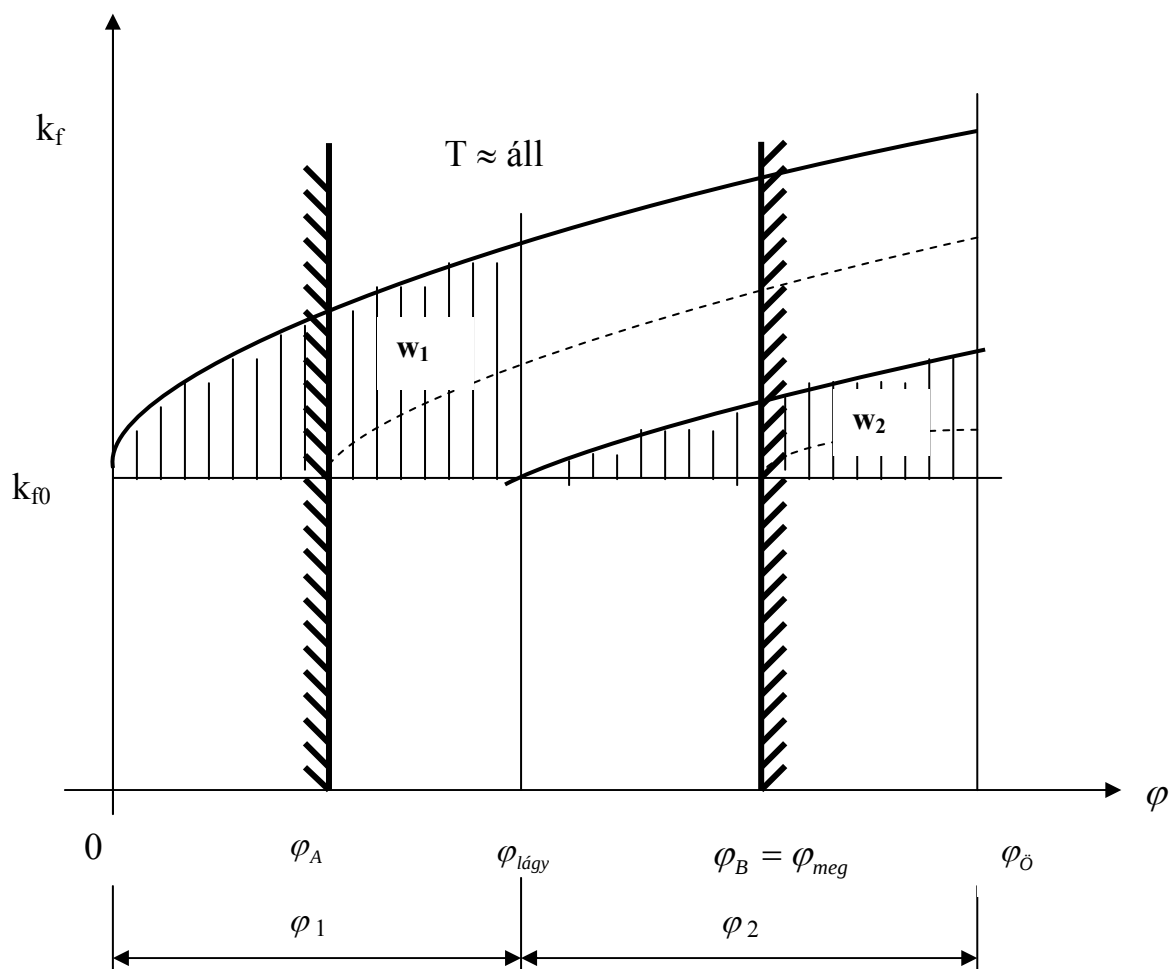
A következőkben ismertetésre kerülő, általam javasolt modell alkalmazását nem befolyásolja a fázisok száma, a két fázisú hengerlésre tett megállapítások érvényesíthetők kettőnél több fázis esetében is.

A modell összefüggéseit a 13. ábra szemlélteti, amely az alakváltozás és az alakítási szilárdság közötti függvény kapcsolatra épül, és akkor érvényes, ha a hőmérséklet (T) közel állandó. Megjegyzendő, hogy a modell alkalmazása az alakítási munkaigényen alapszik, és nem számol a hengerlés közben felmerülő súrlódási munkával.

Az összes alakváltozást a kiinduló és kész méret ln alapú hányadosával számszerűsíthetjük:

$$\varphi_{\delta} = \ln \frac{h_0}{h_{\text{kész}}}$$

Ezt a magasságsökkenést két részletben kell megvalósítani (kétfázisú esetben), ami-
nek oka $\varphi_{\ddot{o}} \geq \varphi_{meg}$.



13. ábra. A kétfázisú hengerlés köztes lágyítási helyének optimalizációs modellje

Ezt a két részletet jelentő szakasz a φ tengelyen:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &: 0\text{-től} & \varphi_{\text{lagy}}\text{-ig} \\ \varphi_2 &: \varphi_{\text{lagy}}\text{-tól} & \varphi_{\ddot{o}}\text{-ig, ahol} \\ \varphi_1 &\leq \varphi_{\text{meg}} & \text{és} \\ \varphi_2 &\leq \varphi_{\text{meg}}. \end{aligned}$$

A φ tengelyen definiálható két pont (φ_A és φ_B), azaz két alakváltozási mérték, amelyek egy tartományt jelölnek ki. Ennek alsó határa az összes, illetve a megengedett alakváltozás különbsége, felső határa pedig egybeesik a megengedett alakváltozással:

$$\varphi_A = \varphi_{\bar{O}} - \varphi_{meg}$$

$$\varphi_B = \varphi_{meg}$$

Ez a tartomány a lágyítási intervallum, amelyben megválaszthatjuk a két hengerlési fázist elválasztó (köztes) lágyítás helyét.

A modell alkalmazásának abban áll a jelentősége, hogy a megvalósítás helye optimalizálható a befektetett alakítási munka szerint, amely arányos a görbe, illetve görbék alatti területtel, vagyis:

$$W = \sum_{\varphi_{x1}}^{\varphi_{x2}} V_0 \int k_f(\varphi) d\varphi = V_0 \sum_{\varphi_{x1}}^{\varphi_{x2}} \int k_f(\varphi) d\varphi \quad , \text{ ahol } V_0 \text{ az alakított test kiinduló térfogata.}$$

fogata.

A φ tengelyen ott kell tehát kijelölni a lágyítás helyét, amely esetben az alakításhoz szükséges munkák összege minimális lesz.

Tekintettel arra, hogy egy közbenső lágyításkor az alakítással együtt járó keményedés megszűnik, az alakítási szilárdság görbéje a kilágyított anyagra vonatkozó k_{f0} helyről indul újra (lásd 13. ábra). Ennek megfelelően, ha egy tetszőleges $0 < \varphi_{l\acute{a}gy} < \varphi_{\bar{O}}$ helyen végzett közbenső lágyítást alkalmazunk, akkor a két alakítási fázisban befektetendő alakváltozási munka nagyságát az alábbi integrációs határok mellett kell kiszámítani:

$$\text{I. fázis:} \quad \varphi_{x1} = 0; \quad \varphi_{x2} = \varphi_{l\acute{a}gy}$$

$$\text{II. fázis:} \quad \varphi_{x1} = 0; \quad \varphi_{x2} = \varphi_{\bar{O}} - \varphi_{l\acute{a}gy}$$

A határok megállapításakor felhasználtam azt a tényt, hogy az egymás utáni logaritmikus alakváltozások egyszerűen összeadhatók.

A térfogat az alakítás során állandó, tehát a célfüggvényből elhagyható.

Így a célfüggvény fajlagos értékekkel is számítható:

$$w = \frac{W}{V_0} = w_1 + w_2 = \int_{\varphi=0}^{\varphi_{\text{lágy}}} k_f(\varphi) d\varphi + \int_{\varphi=0}^{(\varphi_0 - \varphi_{\text{lágy}})} k_f(\varphi) d\varphi \Rightarrow \min, \text{ ahol } w \text{ az egy-}$$

ségnyi térfogatú anyagrészt alakításához szükséges alakváltozási munka, mértékegysége: N/mm².

Az elérhető eredmény (energia vagy munka megtakarítás) számszerűsítéséhez bevezetünk egy mutatót, amelynek mértéke arányos a ráfordítás csökkenésével.

Felírható a ténylegesen befektetett alakítási munka mennyiségének meghatározására alkalmas összefüggés:

$$w_{\text{tényl}} = \int_{\varphi=0}^{\varphi_{\text{lágy}}} k_f(\varphi) d\varphi + \int_{\varphi=0}^{(\varphi_0 - \varphi_{\text{lágy}})} k_f(\varphi) d\varphi$$

továbbá a köztes lágyítás nélkül felmerülő („ideális esetre” vonatkozó) alakítási munkaigény meghatározásának képlete:

$$w_{\text{ideális}} = \int_{\varphi=0}^{\varphi_0} k_f(\varphi) d\varphi.$$

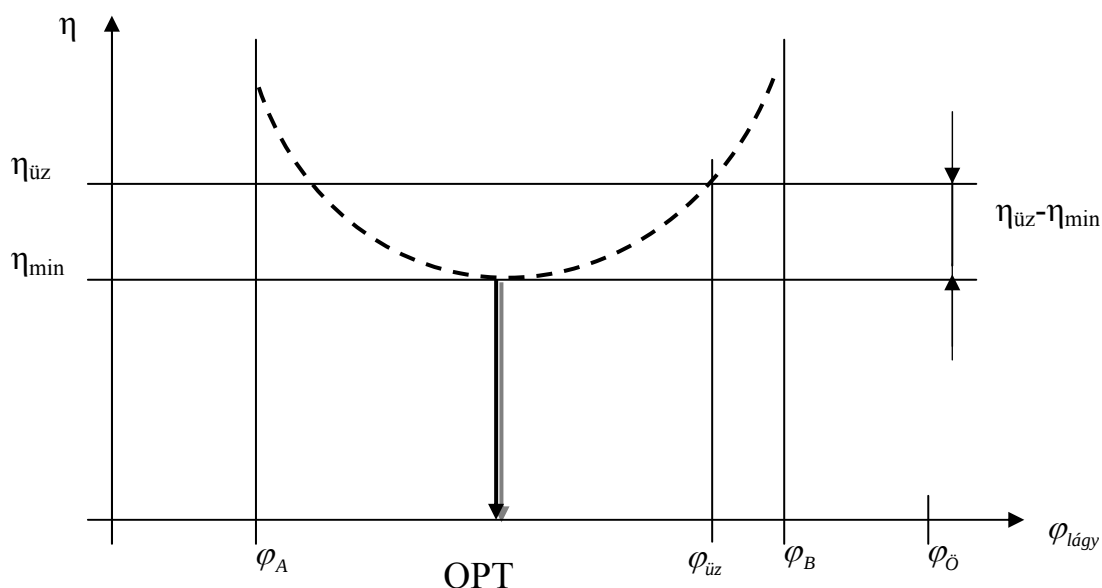
A két befektetett munka mennyisége eltérő, hiszen $w_{\text{ideális}} > w_{\text{tényl}}$, de ennek az ára a hőkezelés során felhasznált energia mennyisége, ami jóval nagyobb, mint a két alakítási munka különbsége. Felhasználása, mint az előzőekben kifejtettem, szükségszerű.

Az ideális (tehát hőkezelés nélküli) esetben befektetendő fiktív, de állandó energia mennyiségéhez hasonlíthatjuk a lágyítással ketté osztott valós esetben felmerülő munka mennyiségét.

A két értékből hányadost képezve és azt (mint hatásfok tényezőt) η -val jelölve az alábbi alakban is felírható a célfüggvény:

$$\eta = \frac{w_{\text{tényl}}}{w_{\text{ideális}}} \Rightarrow \min.$$

A $\varphi_{\text{lágy}}$, mint változó függvényében ábrázolva az η tényezőt a 14. ábra szerinti diagram rajzolható meg.



14. ábra. Az η mutató alkalmazása a lágyítás helyének meghatározásában

A diagramban $\varphi_{\text{üz}}$ -vel jelölve a tényleges üzemi lágyítás helyét, látható, hogy $\eta_{\text{üz}} - \eta_{\text{min}}$ különbséggel arányos energia megtakarítás érhető el a modell alkalmazásával.

2.2.2 A modell alkalmazásának bemutatása

A kísérlet a modell egyszeri használatát jelenti, amely több – változó paraméter értékekkel történő – futtatásból áll.

A modell alkalmasságának bemutatására három anyagminőségre végeztem kísérletet, amelyekre a DUNAFERR DWA Kft-től kaptam szűrősterv adatokat (5. táblázat).

A kísérletbe bevont kétfázisú hengerlési tételek adatai

5. táblázat

Sorszám	Anyagminőség	Méretcsökkenések [mm]	
		I. fázis	II. fázis
1.	EH 820-65 FK	2,30-0,75	0,75-0,64
2.	St 52-3G	3,00-1,00	1,00-0,80
3.	St 02 FK40	4,50-3,00	3,00-2,50

A háromféle tétel anyagjellemzői:

Eh 820-65 FK szabványjelű elektrotechnikai célú acél összetétele:

C	= 0.04-0.10 %
Mn	= 0.40 %
Si	= 1.50 %
P	= 0.040 % (max)
S	= 0.03 % (max)
Al	= 0.015 % (max)
Szakítószilárdsága:	$R_m = 410-480 \text{ N/mm}^2$

St 52 szabványjelű szerkezeti acél összetétele:

C	= 0.20 %
Mn	= max 1.50 %
Si	= max 0.55 %
P	= 0.05 % (max)
S	= 0.05 % (max)
Al	= 0.015 % (max)

St 02 szabványjelű szerkezeti acél összetételére a szakirodalom nem tartalmaz megkö-
téseket. Lengyelországban az St 0S jelű, Németországban az St 00 jelű felel meg en-
nek az anyagminőségnek, amely esetekben a C-tartalomra vonatkozó egyetlen megkö-
tés: max: 0,23.

Ezen adatok alapján a k_f -görbe Hajduk szerinti állandóit [27] a 6. táblázatban fogla-
lom össze. A Hajduk és munkatársai nyomán kidolgozott képlet termodinamikai té-
nyezőkre épül [28].

A három kísérleti anyagminőség Hajduk-féle paraméterei

6. táblázat

Sorszám	Anyagminőség	k_{fo} N/mm^2	A_1	m_1	A_2	m_2	A_3	m_3
1.	EH 820-65	735.6	1.0161	0.0008	1.4811	0.0067	0.9607	0.0174
2.	St 52	692.0	1.0224	0.0011	1.3024	0.1130	0.9644	0.0157
3.	St 02	519.8	1.0060	0.0003	1.5578	0.0987	0.9707	0.0129

A futtatásokat a MathCAD nevű számítógépes program segítségével végeztem el, amelybe input adatként az alábbi változókat adtam meg:

$$T = 20 \text{ C}^{\circ}$$

$$D = 500 \text{ mm}$$

$$v = 4000 \text{ mm/s}$$

5. táblázat kiinduló és kész méret adatai

6. táblázat k_{f0} adatai és Hajduk-féle paraméterei.

A három kísérlet számítógépes input és eredmény adatait, valamint diagramjait az 1. melléklet tartalmazza.

Mindhárom kísérlet az összes magasságsökkenés tizedmilliméterenkénti léptetésének megfelelő számú futtatásából áll ($i = 1 \dots n$), ahol n – a futtatások száma:

$$n = \frac{h_0 - h_{kész}}{0,1}$$

A kísérletek sorrendje:

1. EH 820-65 FK
2. St 52-3G
3. St 02 FK 40

2.2.3 Futtatások eredményeinek kiértékelése

Az 1. kísérlet bemenő adatai:

Anyagminőség:	EH 820-65 FK	$k_{f0} = 735,6 \frac{N}{mm^2}$
$T = 20 \text{ C}^{\circ}$	$D = 500 \text{ mm}$	$v = 4000 \frac{mm}{s}$
$h_0 = 2,30 \text{ mm}$	$h_{kész} = 0,64 \text{ mm}$	$n = 16$
$A_1 = 1,0161$	$A_2 = 1,4811$	$A_3 = 0,9607$
$m_1 = 0,0008$	$m_2 = 0,0670$	$m_3 = 0,0174$

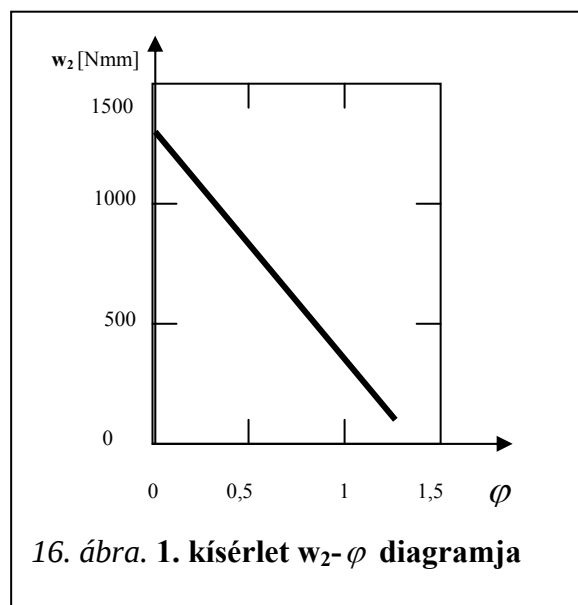
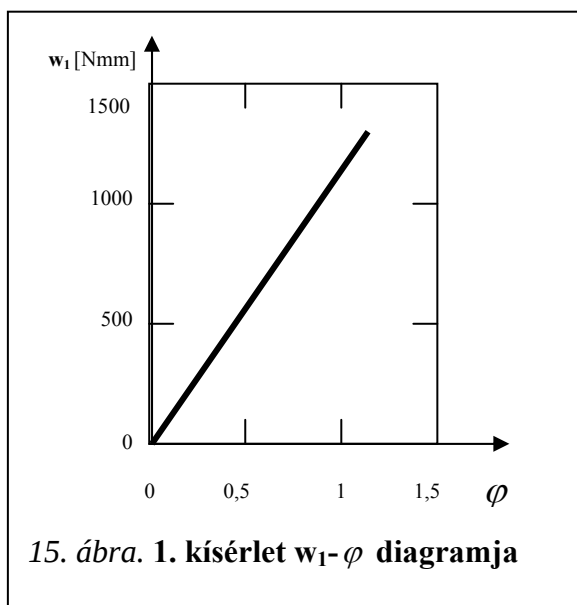
A szoftver által számított értékeket a 7. táblázat rendszerezi.

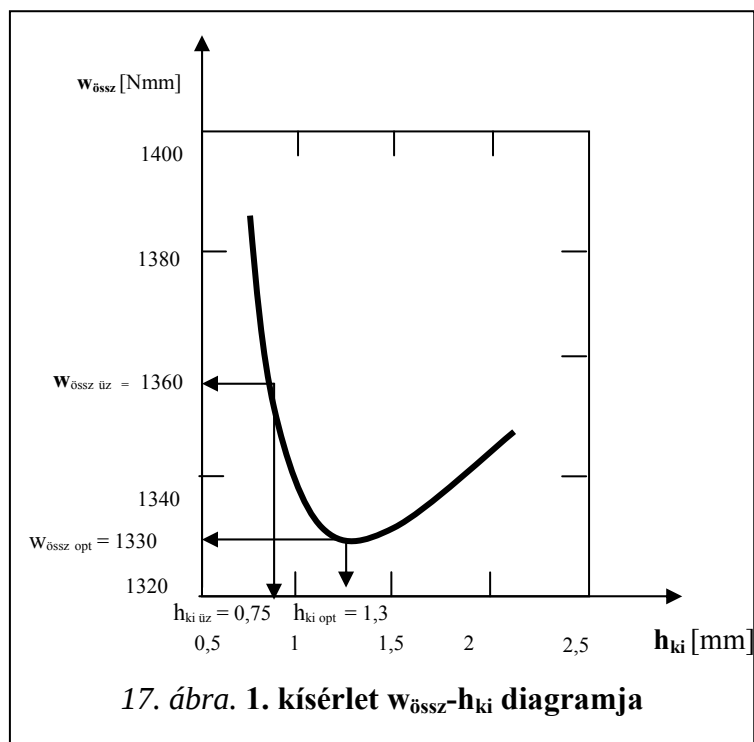
Az 1. kísérlet számított adatai

7. táblázat

Paraméterek	Futtatások értékei															
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
$\dot{\varphi} \text{ s}^{-1}$	35,56	56,46	64,55	76,42	87,70	98,73	109,73	120,90	132,38	144,34	156,93	170,34	184,81	200,61	218,14	237,92
$w_{\perp} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	37,7	81,4	129,2	180,8	236,5	296,3	360,8	430,4	505,7	587,5	676,8	774,9	883,5	1005	1141	1298
$w_2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	1310	1260	1210	1160	1110	1040	969	898	822	740	652	557	454	341	217	82
$w_{\text{össz}} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	1344	1344	1341	1338	1335	1332	1330	1329	1328	1328	1329	1332	1338	1346	1359	1380

A két fázis egységnyi térfogatú anyag alakításához szükséges befektetett rész munkáinak (w_1 ; w_2) és az összes egységnyi térfogatra vonatkoztatott alakítási munka szükséglet ($w_{\text{össz}}$) változását a magasság csökkenés függvényében (φ ill. h_{ki}) a 15-17. ábrák diagramjai mutatják.





A 17. ábra diagramján leolvasható az üzemi (szúrásterv szerinti) és az optimum szerinti munkaigény közötti különbség. Tehát, ha nem az optimum hely szerint választjuk meg a lágyítás helyét, úgy

$$\left(1 - \frac{w_{\text{összopt}}}{w_{\text{összüz}}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{1230}{1360}\right) \cdot 100 = 9,6\%$$

az alakítás fajlagos többlet energia igénye.

A 2. kísérlet bemenő adatai:

Anyagminőség:	St 52 3G	$k_{f0} = 692,0 \frac{N}{mm^2}$
$T = 20 \text{ C}^0$	$D = 500 \text{ mm}$	$v = 4000 \frac{mm}{s}$
$h_o = 3,00 \text{ mm}$	$h_{\text{kész}} = 0,80 \text{ mm}$	$n = 21$
$A_1 = 1,0224$	$A_2 = 1,3024$	$A_3 = 0,9644$
$m_1 = 0,0011$	$m_2 = 0,1130$	$m_3 = 0,0157$

A szoftver által számított értékeket a 8. táblázat rendszerezi.

A 2. kísérlet számított adatai

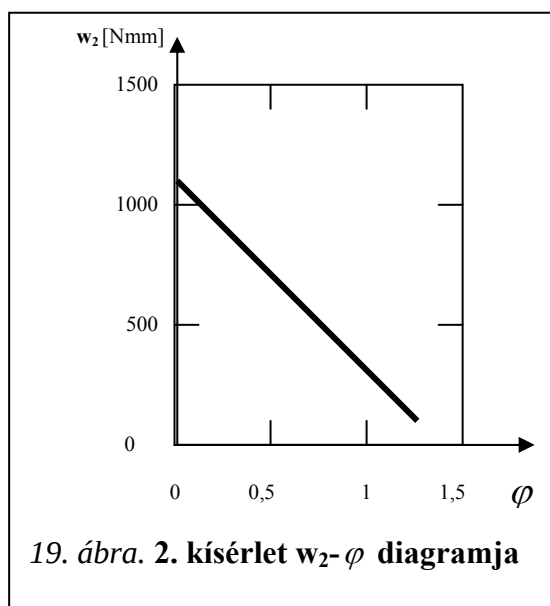
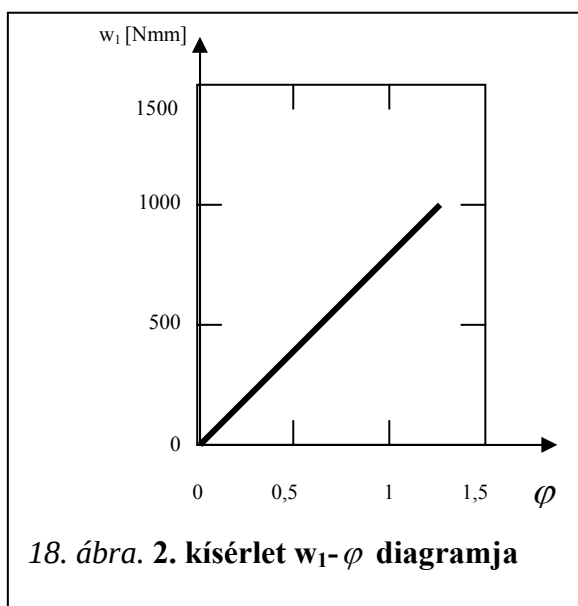
8. táblázat

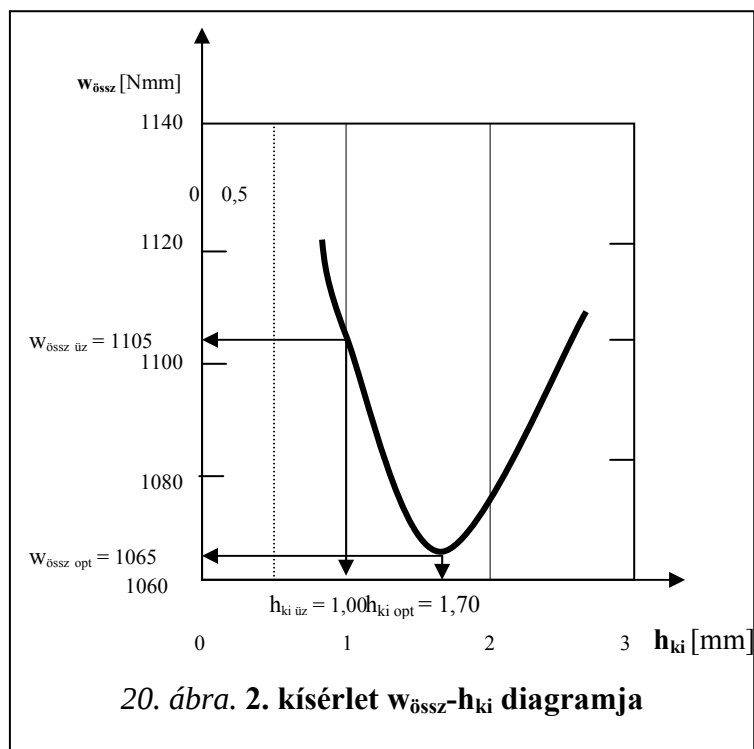
Paraméterek	Futtatások értékei															
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
$\dot{\varphi} \text{ s}^{-1}$	27,12	39,03	48,66	57,24	65,23	72,88	80,34	87,73	95,11	102,58	110,17	117,97	126,02	134,40	143,18	152,43
$w_{\perp} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	19,02	42,18	67,81	95,59	125,4	157,3	191,4	227,6	266,3	307,5	351,5	398,5	448,9	503,0	561,4	624,5
$w_2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	1090	1063	1032	999,1	964,2	927,4	888,9	848,5	806,2	761,9	715,4	666,5	615,1	560,8	503,5	442,8
$w_{\text{össz}} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	1109	1105	1100	1095	1090	1085	1080	1076	1072	1069	1067	1065	1064	1064	1065	1067

8. táblázat folyt.

Paraméterek	Futtatások értékei				
	17.	18.	19.	20.	21.
$\dot{\varphi} \text{ s}^{-1}$	162,26	172,78	184,14	196,53	210,18
$w_{\perp} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	693,2	768,1	850,6	941,9	1044
$w_2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	378,5	310,0	237,2	159,8	78,6
$w_{\text{össz}} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	1072	1078	1088	1102	1123

A 2. kísérlet kiértékeléséhez szükséges output adatokból származtatott diagrammokat a 18-20. ábrák szemléltetik.





A leolvasott adatokat behelyettesítve a képletbe

$$\left(1 - \frac{1065}{1105}\right) \cdot 100 = 3,6\%$$

az alakítás fajlagos energia megtakarítása, ha az optimum helyen végezzük (1,7 mm-nél) a közbelső lágyítást.

A 3. kísérlet bemenő adatai:

Anyagminőség:	St 02 FK 40	$k_{f0} = 519,8 \frac{N}{mm^2}$
$T = 20 \text{ C}^\circ$	$D = 500 \text{ mm}$	$v = 4000 \frac{mm}{s}$
$h_o = 4,50 \text{ mm}$	$h_{\text{kész}} = 2,50 \text{ mm}$	$n = 21$
$A_1 = 1,0060$	$A_2 = 1,5578$	$A_3 = 0,9707$
$m_1 = 0,0003$	$m_2 = 0,0987$	$m_3 = 0,0129$

A szoftver által számított értékeket a 9. táblázat tartalmazza.

A 3. kísérlet számított adatai

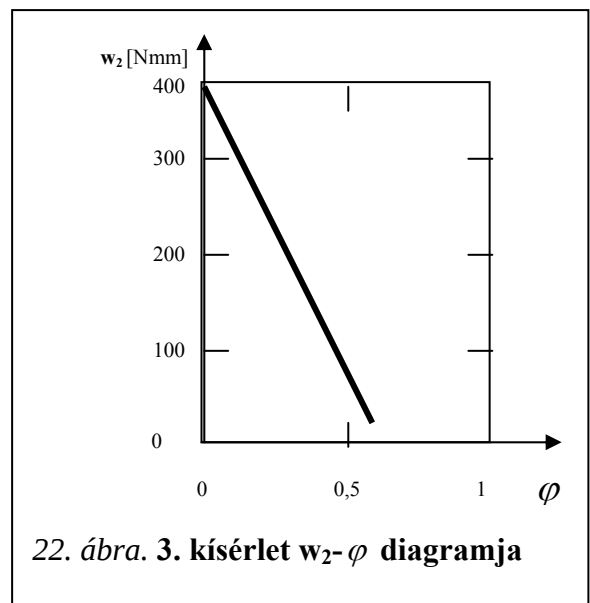
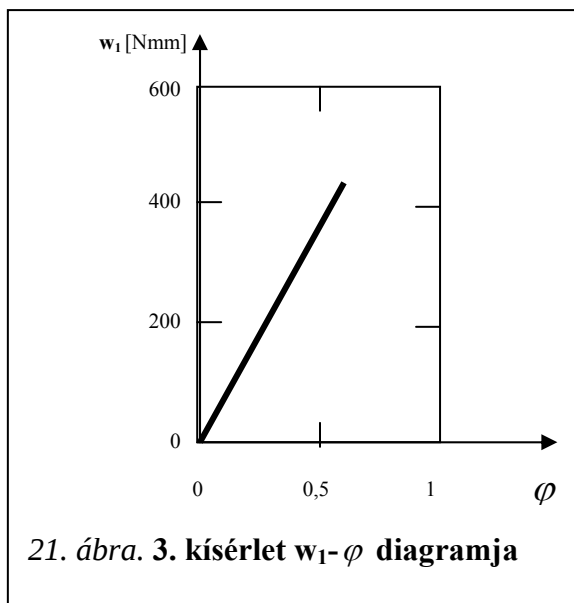
9. táblázat

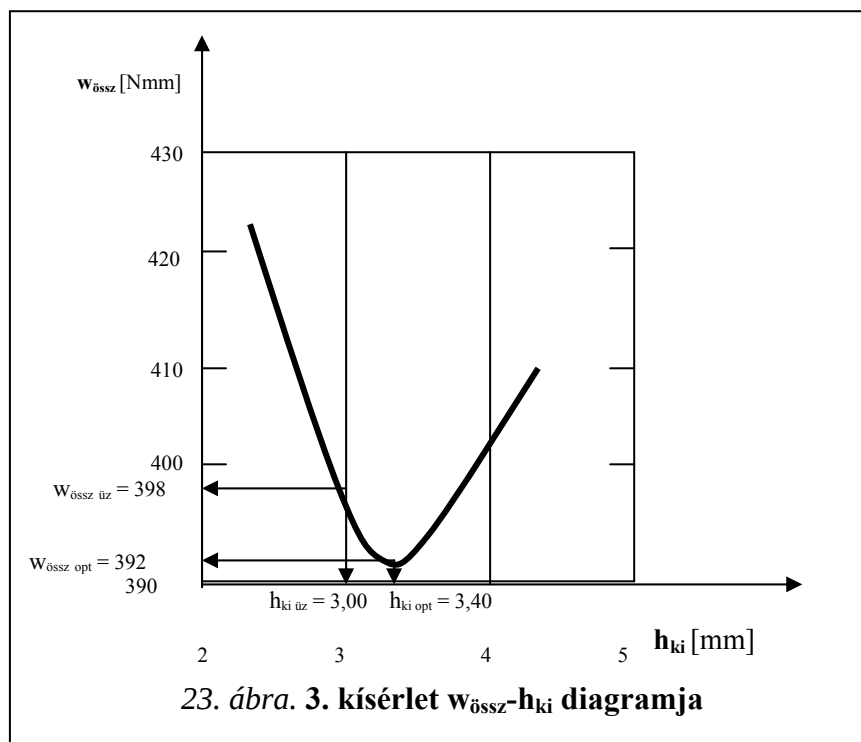
Paraméterek	Futtatások értékei															
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
$\dot{\varphi} \quad \text{s}^{-1}$	17,98	25,72	31,87	37,24	42,14	46,74	51,12	55,37	59,50	63,58	67,61	71,63	75,65	79,68	83,75	87,87
$w_1 \quad \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	11,5	25,00	39,6	55,2	71,6	88,8	106,7	125,5	145,1	165,5	186,7	208,8	231,8	255,8	280,9	306,9
$w_2 \quad \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	396,7	380,8	363,7	345,8	327,4	308,5	289,1	269,2	248,9	228,0	206,7	184,9	162,6	139,9	116,7	93,2
$w_{\text{össz}} \quad \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	408,2	405,8	403,3	401,0	399,0	397,3	395,9	394,7	393,9	393,5	393,4	393,7	394,5	395,7	397,6	400,1

9. táblázat folyt.

Paraméterek	Futtatások értékei			
	17.	18.	19.	20.
$\dot{\varphi} \quad \text{s}^{-1}$	92,06	96,32	100,7	105,1
$w_1 \quad \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	334,2	362,7	392,4	423,6
$w_2 \quad \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	69,3	45,3	21,6	0
$w_{\text{össz}} \quad \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	403,5	408,0	414,1	423,6

A 3. kísérlet kiértékeléséhez a futtatásokból kapott adatok alapján a 21-23. ábrák diagramjai szerkeszthetők meg.





A leolvasott adatokat behelyettesítve a képletbe

$$\left(1 - \frac{392}{398}\right) \cdot 100 = 1,5\%$$

az alakítás fajlagos energia szükséglet csökkenése, ha az üzemi gyakorlat helyett (3,00 mm) az optimalizálás szerint (3,4 mm-nél) választjuk meg a lágyítás helyét.

A lágyítás optimális helyének megállapítása fenti modell segítségével egy szempont (a befektetett alakítási munka minimalizálása) szerint történt. Az optimális hely megválasztását szerkezeti acélok gyártása esetén korlátozhatja a szemcseszerkezet kialakításához szükséges alakváltozási mérték.

Természetesen a modell alkalmazásánál egyéb szempontok (pl. síkfekvés követelménye vagy a 2. fejezet szerinti paraméter optimalizálás) figyelembe vétele is szükséges, amelyek korrigálhatják az általam kiszámított eredményeket, de a tézist nem változtatják meg, amely szerint létezik olyan közbenső alakváltozás, amelynél elvégezve a lágyító hőkezelést, minimális lesz a befektetett alakítási munka.

3. Moduláris felépítésű termelésirányítási rendszer fejlesztésének gazdaságossági hatásai

A szakirodalomban és a gyakorlatban egyaránt viszonylagos fehér folt a moduláris felépítésű, kis ráfordítással adaptálható termelésirányítási szoftverek alkalmazása a kohászatban, így a hideghengerműi gyakorlatban is.

Az ismert megoldások általában diszkrét rendszerekre vonatkoznak, amelyek támogatják ugyan a termelés programszerűbbé és követhetőbbé tételét, de nem komplexek és alacsony az integráltsági fokuk. Alkalmazásuk alacsony hatásfokú; nagy az élőmunka igényük, gyakoriak az átprogramozások, gyenge a határidőbiztonságuk.

Az esetek többségében a felhasználók rész optimumokat határoznak meg, a vállalat egészét átfogó tervezési szempontok nem érvényesülhetnek.

Nem alkalmaznak egységes rendszerbe foglalt, a tervezés valamennyi elemét integráló módszereket és eljárásokat.

Az elmúlt időszakban a hideghengerműi termeléstervező és termelésirányító rendszerek fejlesztése részletkérdésekkel, parciális, egyedi problémák megoldásával foglalkozott, mint pl.:

- készletek figyelése és optimalizálása,
- a leminősült termelés átprogramozása,
- a gyártóeszközök jobb kihasználása,
- a vevői reklamációk gyors kezelése,
- információs igények kiszolgálása, stb.

A rendszer a váratlanul és véletlenszerűen fellépő külső (környezeti) és belső (rendszerbeli) zavaró hatásokra különbözőképpen reagál, és a tervezettől különbözően eltérő eredményeket produkál. Ezt nevezzük követő, nem célszerűen viselkedő vállalati rendszernek.

Napjainkban (Magyarországon is) a termelésirányító rendszerekkel szembeni követelmények változása tapasztalható. A minőség és mennyiség mellett megnőtt a jelentősége a vevői igények elvárt határidejű kielégítésének.

Ennek a változásnak csak egy komplex, integrált termeléstervezési- és programozási rendszer felelhet meg, amely figyelembe veszi napjaink technikai lehetőségeit, valamint metodikailag megalapozott és szimulatív.

Ma már biztosítható és szükségszerű is az irányítás egysége és folyamatossága. A technológiai adatok szükségesek a tervezéshez, optimalizáláshoz, programozáshoz. A programozás adatai pedig elengedhetetlenek a technológiai folyamatok irányításához.

Egy ilyen ún. célszerűen működő gyártásirányítási rendszer alkalmazásával magasabb fokú programozottsági szinten rövidíthető a gyártás átfutási ideje, növelhető a határidőbiztonság, minimalizálhatók az alapanyag-, befejezetlen- és félkész készletek, valamint csökkenthető a fajlagos energia-felhasználás [42].

A termelésirányítás új követelményeket kielégítő rendszerének legfőbb jellemzői:

RUGALMAS

Eltérő gyártási karakterisztikákhoz alkalmazható, adaptálható:

- a vállalati nagyság,
- az előállított termék összetettsége,
- a berendezések üzemeltetésének folytonossága,
- a termelés tömegszerűsége,
- a munkahelyek struktúrája,
- a technológiai sajátosságok

figyelembe vételével.

MODULÁRIS

A teljes rendszer egymáshoz kapcsolódó modulokból (részekből) áll.

Az alappillérek az **adatbázisok**, amelyekből a működő modulok építkeznek.

A működő moduloknak logikailag első tagja az **értékesítési modul**, amely az ajánlatkezelés, gyárthatósági vizsgálat, technológizálás, határidőzés, szerződéskötés funkcióit foglalja magába.

A rendszer központi modulja a **tervezési és programozási modul**, amely az éves és negyedéves tervezésből, (havi) durvaprogramozásból, (heti) finomprogramozásból és (napi) munkaadagolásból épül fel.

A negyedik modul a **termeléskövetés**, amelynek fő funkciói a programszerűség figyelembe vétele, zavar esetén elhárító beavatkozás.

INTEGRÁLT

A termelés tervezési és programozási rendszernek illeszkednie kell a vállalatirányítás és működés komplex rendszerébe, úgy mint az

- üzleti tervezési,
- kereskedelmi,
- eszközgazdálkodási,
- készletgazdálkodási,
- humán erőforrás gazdálkodási,
- fejlesztési,
- pénzügyi-számviteli

rendszerekhez.

Az integráltság követelményei között kiemelt jelentősége van a műszaki fejlesztési megoldások termelésirányítási rendszerre gyakorolt hatásának, mivel ezek befolyásolják legnagyobb mértékben a rendszer felépítését.

Bonyolult eldöntendő kérdés a termelésirányítási rendszerek számítógépes hátterének tervezésekor, hogy kész rendszert vásároljunk és adaptálunk, vagy egyedi rendszerterv alapján fejlesszük, illetve fejlesztessük ki azt a számítógépes programot, amely kielégíti fenti követelményeket.

A döntéshez információk szükségesek a szoftver beszerzési-adaptálási, illetve előállítási költségeiről. Egy magyarországi gyártórendszer esetében elvégeztem azt az összehasonlítást, amelynek adatait a *10. táblázat* tartalmazza.

Két ajánlat alapján számszerűsítettem a sztenderd szoftver alkalmazásba vételének költségnemeit, valamint az egyedi esetben előkalkulált ráfordításokat.

**Sztenderd és egyedi szoftverek bevezetési költségeinek összehasonlítása
egy magyarországi hideghengermű esetében (2001.)**

10. táblázat (MFt)

Sor- szám	Szoftver típusa Költségek	Sztenderd szoftverek		Egyedi szoftver
		SAP PPS	BRAIN-5	
1.	Rendszerszervezés	8	6,5	4
2.	Beszerzés	120	125	-
3.	Kidolgozás	-	-	40
4.	Adaptálás	25	28	-
4/a.	Kapcsolódás más rendszerekhez	3	3	4
5.	Tesztelés	5	4	2
6.	Felhasználási dokumentáció	1,5	1,8	1
7.	Betanítás	13	14	1,5
8.	Utógondozás	4	5	-
9.	Rendszerfelügyelet	-	-	2
Összesen:		179,5	187,3	54,5
Fejlesztési ráfordítás (eFt/nap/fő)		160	165	80
A megvalósítás átfutási ideje (hónap)		12	14	20

A költségek alapján végzett összehasonlítás egyértelműen az egyedi szoftver választását indokolja. Mind a rendszerfejlesztés (előszervezés), mind pedig a szoftver bevezetés ráfordításait elemezve megállapítható a sztenderd szoftverek magasabb ráfordítási igénye. Ez azzal magyarázható, hogy egy igen nagy emberév ráfordítást igénylő univerzális szoftver készül a szoftver házakban, amelynek jelentős előállítási költségei mellett, igen magas az adaptációs (fordítási, testreszabási, illesztési) költsége is. Bár az egyedi szoftver kifejlesztésének időigénye jóval meghaladja a sztenderd szoftverek adaptációjának átfutási idejét, mégis ennek a választását javaslom. Ugyanis más esetek tapasztalatai azt igazolják, hogy a hosszabb előállítási és bevezetési időtartam ellenére is ésszerűbb az egyedi szoftver mellett dönteni, mivel a helyi sajátosságokat (gyártórendszer karakterisztikája, meglévő hardver és szoftver környezet, szervezeti felépítés, folyamathálózat, stb.) alaposabban figyelembe vevő rendszer építhető ki, amelynek gazdaságossága az utógondozás, illetve a további fejlesztési ráfordítások alacsonyabb költségeivel is bizonyíthatók.

3.1 A javasolt hideghengerműi termelésirányítási rendszer felépítése és funkciói

A rendszerfejlesztés alapvető célja, hogy a piaci megrendeléseket minél nagyobb arányban az igények szerint teljesítse a hideghengerműi gyártórendszer. Hazai megfigyeléseim szerint legnagyobb probléma – a minőségen kívül – az igényelt határidők be nem tartása, amely már a kezdetektől tapasztalható és a rendelés naptári hónapra (jobb esetben hétre) történő visszaigazolásban ölt testet, sőt az esetek többségében további késedelmet szenved.

Ez a tünet a hideghengerműi gyártórendszerek alacsony határidőbiztonságú működést jelzi, vagyis a programszerűtlenséget.

További probléma a megrendelési igények nem pontos mennyiségi kielégítése, amely sorozatképzési és/vagy termeléskövetési hiányosságokra, valamint selejtképződési okokra vezethető vissza.

Ezzel eljutottunk a minőségi igényeknek való megfelelés tárgyköréhez, amely közvetten annyiban befolyásolható a termelésirányítási rendszer fejlesztésével, amennyiben kapcsolatot tudunk teremteni a gyakorlatban a gyártás irányítása és a minőségjavító hatású technológiafejlesztés között.

Tudatosan kell törekednünk a gyártórendszeren belül ennek a kapcsolatnak a kiépítésére. Ugyanis – „mint azt a szakirodalmat áttekintő fejezetben már említettem – a hideghengerműveknek számottevő hozama keletkezhet a gyártási technológia törvényszerűségeinek megismerése és azoknak a termelésirányításában való hasznosítása következtében. (Pl.: „az összetartozó hengerlési paraméterek optimumának meghatározása” vagy „a közbülső lágyítás helyének megválasztása” tárgyú modellezések eredményei be kell, hogy épüljenek a technológiai adatbázisba, ill. a gyártási normaidők adatbázisába.)

Fentiek figyelembe vételével fő cél (a piaci megrendelések igény szerinti kielégítése) kitűzésével kauzális összefüggésben a rendszerfejlesztés további rész céljai fogalmazhatóak meg:

- programszerűség, határidő biztonság növelése,

- gyártás átfutási idejének csökkentése,
- félkész és készáru készletek minimalizálása,
- nem megfelelő /selejt termék-készletek minimalizálása,
- gyártóeszköz és segédanyag készletek optimalizálása.

A rész célok között (a minőségi követelmények jelentősége miatt is) érdemes rávilágítani a nem megfelelő ill. selejt készletek csökkentésének specifikus helyzetére.

Ehhez első lépésben két fogalom meghatározása szükséges.

Az egyik a „nem megfelelés”, a másik a „selejt”.

Nem megfelelésről akkor beszélünk, ha egy adott megrendelésre programszerűen előállított termék nem felel meg a megrendelő igényeinek, de azt részben vagy egészben (esetleg kismértékű átalakítással) gazdaságosan átprogramozhatjuk más megrendelő elvárásainak megfelelően. Ez a beavatkozás a termelésirányítás funkciói közé tartozik.

Selejtnak nevezzük a terméket, ha az már további megmunkáló, vagy hőkezelő beavatkozással sem tehető gazdaságosan értékesítésre alkalmassá, így csupán hulladékként hasznosítható. A selejt képződése elsősorban technológiafejlesztő (beruházó vagy ésszerűsítő) megoldásokkal csökkenthető, vagy akadályozható.

A gyakorlatban sok konkrét esetben igen nehéz kettéválasztani a két kategóriát. A döntésekhez gazdaságossági számítások, a számításokhoz pedig gyors információk szükségesek. Ezen információk szolgáltatása is része kell legyen egy korszerű („célszerűen viselkedő”) gyártásirányítási rendszernek.

A javasolt termelésirányítási rendszer rész céljait tovább bővíthetjük ún. közvetlenül mérhető gazdaságossági hatású célokkal.

Úgy mint:

- a profit maximalizálása a termék-nyereségfedezeti kalkuláció bevezetésével,
- a gyártórendszer kapacitás kihasználásának maximalizálása szűk keresztmetszet számítások alkalmazásával.

Ezen célok gazdasági hatása már a negyedéves terv, ill. havi (durva) program összeállításánál kimutatható, ugyanis pl. az első rész cél esetében a rendelések elbírálásának és programba állításának egyik fontos kritériumaként bevezethetjük a megrendelt termék

nyereségtartalmát (vagy fedezeti arányát). Tehát gazdaságossági szempontokat is érvényesíthetünk a programozás során. Ez természetesen abban az esetben igaz, ha a kapacitás kihasználás nem a piac irányából korlátos, vagyis adott időszaki megrendelések meghaladják a gyártó rendszerben általuk generált szűk keresztmetszet átbocsátó képességét.

Bármely gyártórendszer adott időszakban annál gazdaságosabban működik, minél nagyobb nyereségtartalma az általa előállítandó termékmennyiség, és ez a mennyiség az időszak alatti szűk termelési keresztmetszet átbocsátó képességével azonos, vagyis maximális a gyártórendszer kapacitás kihasználtsága. A korszerű termelésprogramozás feladata kell legyen tehát az is, hogy az aktuális rendelés állományának legyárthatóságát ne csak műszaki és kapacitási szempontok szerint vizsgálja, hanem gazdaságossági feltételeket is meghatározzon és érvényesítsen.

Fentiek alapján megfogalmazhatók a rendszerfejlesztés általános követelményei:

- legyen valós idejű,
- legyen kis mennyiségű erőforrás bővítéssel megvalósítható,
- legyen bővíthető, továbbfejleszthető,
- kapcsolódjon a rendszer adattartalmát befolyásoló egyéb rendszerekhez (pl. technológia fejlesztés),
- adjon információkat a logisztikai folyamatok döntéseihez,
- kövesse naprakészen a folyamatokat (ajánlatkéréstől a számlázásig),
- támogassa az üzleti tervek kidolgozását,
- biztosítsa a terv-tény adatok összevetésének lehetőségét,
- adjon számítógépes támogatást a kapcsolódó részrendszerek működéséhez,
- legyen funkcióbarát,
- legyen integrált, a már meglévő adatbázisokkal, redundancia mentesen használja azokat.

Az általam javasolt hideghengerművekben alkalmazható termelésirányítási rendszer szerkezetét az alábbiak jellemzik [42].

A rendszer négy fő blokkból és két mellék blokkból épül fel (24. ábra), amelyekből összeállítható a tételes havi, heti napi termelési program.

A termelés tervezése és a program összeállítása során három alapvető szempontot kell érvényesíteni.

1. A modell működésének alapkövetelménye, hogy a havi (durva) program összeállítása a rendelések visszaigazolásával egymásra épülő interaktív kapcsolatban legyen. Tehát a rendelés visszaigazolása (szerződéskötés) csak akkor történhet meg, ha a megrendelt termék(ek) beilleszthető(k) a havi termelési programba. (Terhelés-átbocsátó képesség vizsgálat)
2. A program összeállításának lényeges szempontja a *gyártás átfutási idő* - *visszaigazolt szállítási határidő* összefüggés figyelembe vétele.
3. A havi termelési program összeállításának harmadik (gazdaságossági) szempontja az optimális termékösszetétel. Az optimalizáló fő célfüggvény: nyereségmaximalizálás. Alkalmazásának akkor van számottevő jelentősége, ha a kibocsátás nem piaci oldalról korlátos, de abban az esetben is érdemes ezt a vizsgálatot elvégezni, ha kevesebb a megrendelés, mint a gyártási kapacitás, mivel a veszteséges vagy nulla nyereség tartalmú tételek kiszűrhetők, illetve mérlegeendő a megrendelés elfogadása a vevő megtartása, a későbbi nyereség reményében.

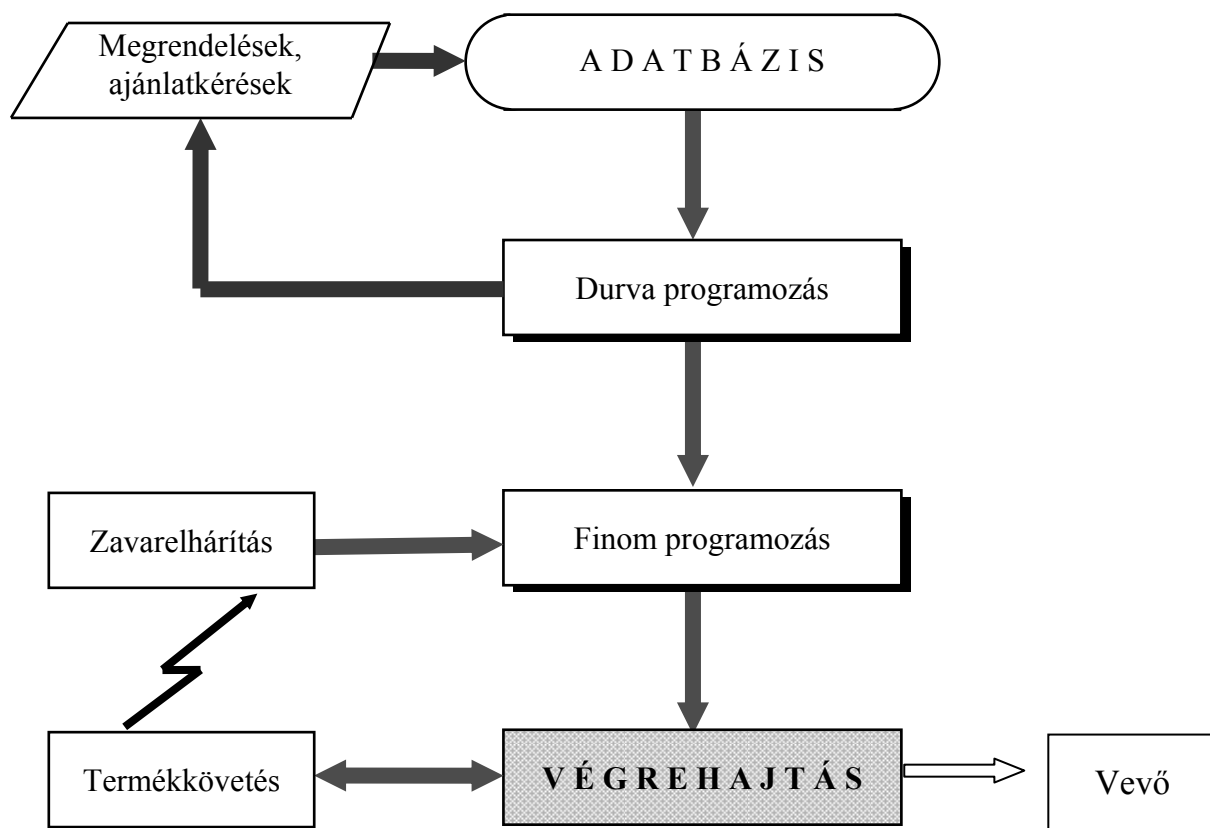
Ekkor a termékek nyereségfedezeti adatai alapján optimalizálható a havi program összetétele a nyereségmaximalizálás érdekében.

Előfordulhat olyan piaci helyzet (pl. pozíció-szerzés), amikor fontosabb a nyereség maximalizálásánál a kapacitások maximális kihasználása.

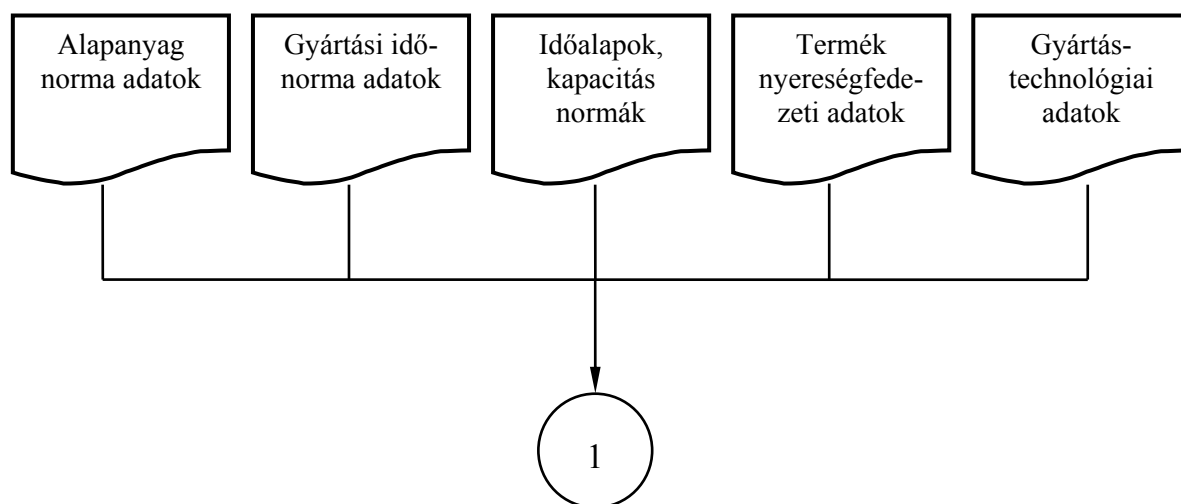
Ezzel az esettel később foglalkozom.

A termelésstervezési és programozási tevékenység adatbázisokra épül (24/1. ábra).

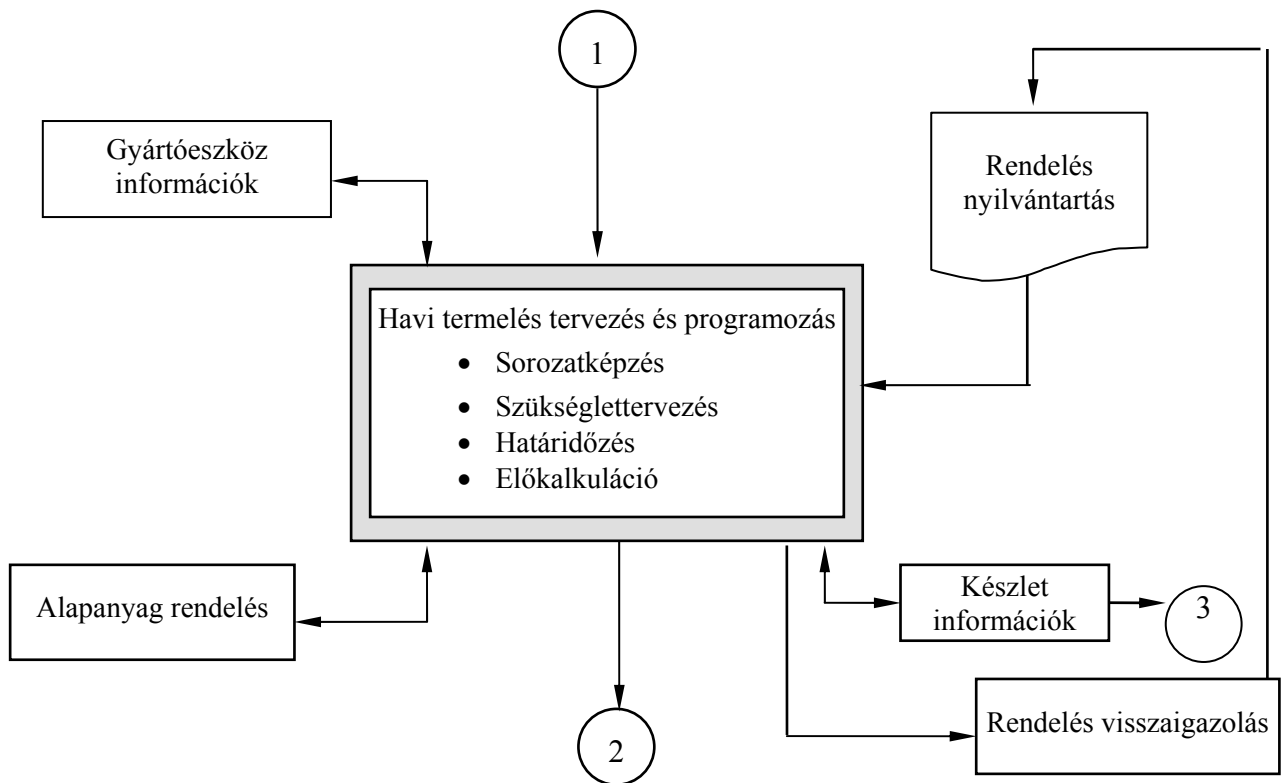
Az adatbázisokból nyerhetők információk a rendelésállomány alapján történő termék optimalizáláshoz (termék-nyereségfedezeti adatbázis); a rendelések műszaki legyárthatóságához (gyártástechnológiai adatbázis, alapanyagnorma adatbázis); a rendelések időbeli legyárthatóságához (gyártási időnorma adatbázis, időalapok, kapacitás normák adatbázisa).



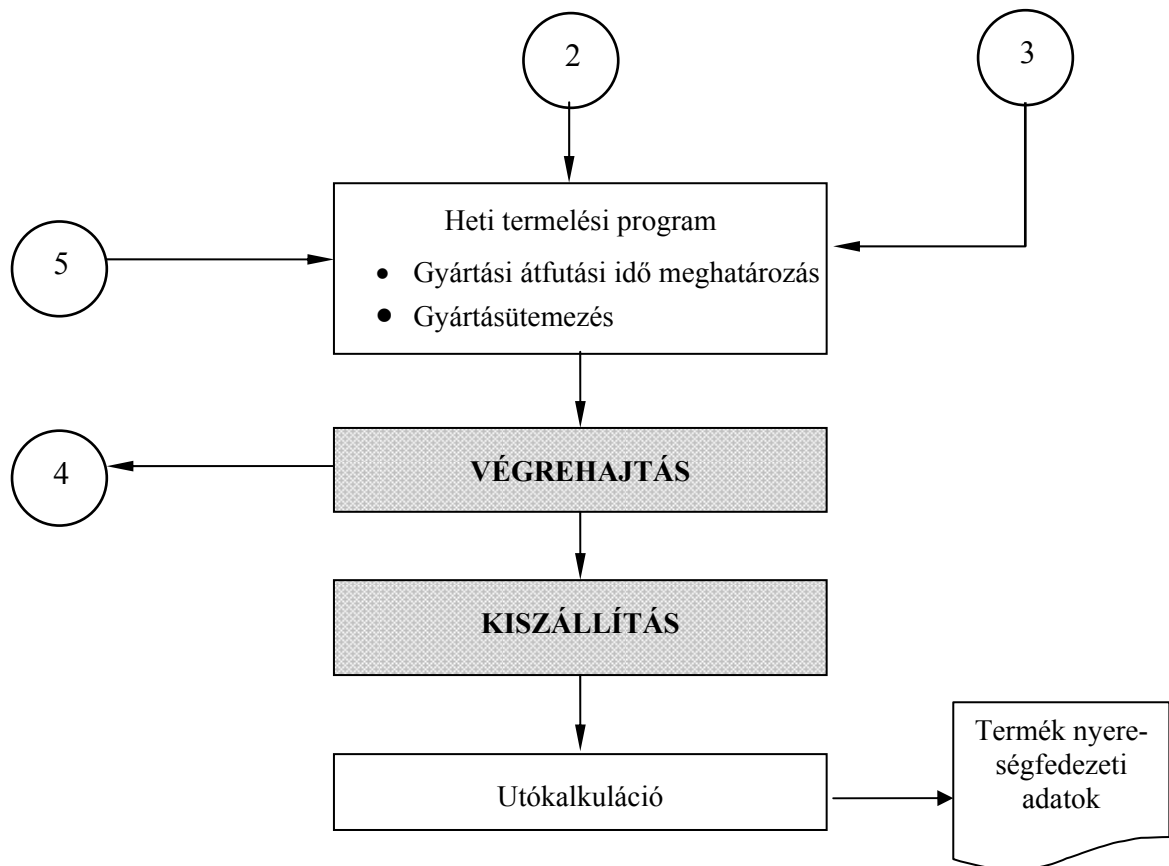
24. ábra. Termelés programozási rendszer felépítése



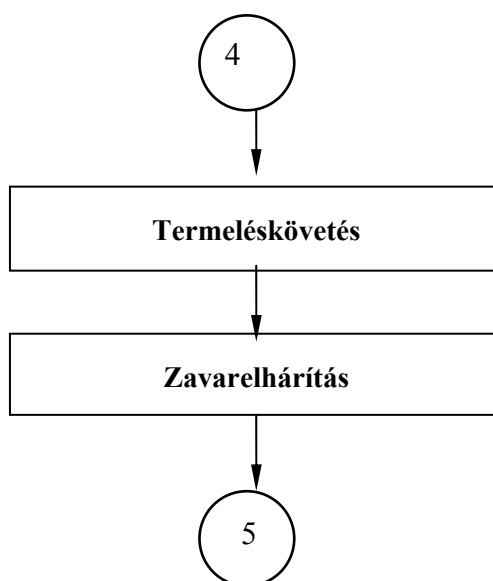
24/1. ábra. Adatbázis



24/2. ábra. Durva programozás



24/3. ábra. Finomprogramozás



24/4. ábra. Napi programozás

A legyárthatósági vizsgálatokat és termékösszetétel optimalizációt követően készülhet el a havi (durva) program, amely előírja az egyéb feltételeket (alapanyag szükséglet, gyártóeszköz igény, stb.), valamint a befogadott rendelésekből gyártási sorozatokat képez (24/2. ábra). A durva program lebontása az induló sorozatok gyártási ütemezését, továbbá a gyártási útvonalak figyelembe vételével újabb sorozatképzést és újabb ütemezést jelent a gyártási határidőknek megfelelően (24/3. ábra).

A napi programozás munka adagolásból, a termelés valós idejű követéséből és szükség szerinti beavatkozásból (zavarelhárításból) áll (24/4. ábra). Ez a működési rész igényli a legtöbb prompt döntést a termelés irányítóitól.

A rendszernek ebben a funkciójában kell zavar (selejtképződés, géphiba, logisztikai hiányosság stb.) esetében a lehető leggyorsabban a legjobb eljárasmódot kiválasztani, gyakran sorozatos, egymásra épülő döntésekkel.

3.1.1 Adatbázis tervek

A megtervezett rendszer adatbázisa öt részből áll. A 11-16. táblázatok példaként bemutatják a lapos termékeket gyártó hideghengerművek adatbázis rendszerének egy lehetséges szerkezeti tervét [44].

- alapanyag norma adatok (11. táblázat),
- gyártási időnorma adatok (12. táblázat),
- időalapok (13. táblázat) és kapacitás norma törzs (14. táblázat),
- termék nyereség fedezeti normák (15. táblázat),
- gyártástechnológiai adatok (16. táblázat).

3.1.1.1 Alapanyag norma adatbázis

Az alapanyag szükséglet normázásának különös jelentősége van minden anyag-igényes eljárás esetében, így a hideghengerlésben is. Komoly gazdaságosságnövelő hatása lehet, ha minden járatos, adott paraméterekkel jellemzett (minőségi, méret, stb.) késztermékhez legalább egy első számú, továbbá egy helyettesítő alapanyagot tudunk hozzárendelni, és eszerint végezzük az alapanyag szükséglet tervezését, megrendelését. Ezeket az adatokat strukturált adatbázisban helyezhetjük el, amelynek folyamatos karbantartása szükséges; egyrészt a járatos termékvalaszték változása, másrészt a műszaki fejlesztések fajlagos szükségleteket csökkentő hatása miatt.

11. táblázat

ALAPANYAG NORMA												
Késztermék paraméterek							Alapanyag paraméterek					
Min. köv.	Szélesség (mm)			Vastagság (mm)			Anyagmin.			Szélesség (mm)	Vastagság (mm)	Fajl. szüks. (t/t)

KITÖLTÉSI ÚTMUTATÓ
A késztermék paraméterek oszlopaiba a járatos (vevők által megrendelt ill. szerződésben rögzített) méreteket mm-ben és az anyagminőség jelét kell beírni. Ezekhez a termék paraméterekhez kell hozzárendelni az alapanyag (melegen hengerelt tekercs) adatait (méret mm-ben), anyagminőség fajlagos anyag-szükséglet (tonna/tonna). Egy késztermékhez kétféle alapanyag rendelhető, ahol a második féleség a helyettesítő alapanyag.

3.1.1.2 Gyártási időnorma adatbázis

A gyártási átfutási idő technológiától függő komponenseit tartalmazza ez az adatbázis. A homogén gyártási keresztmetszetek technológiai műveleteinek főidőit ill. előkészületi és befejezési idői megszerezhetők és tarthatók nyilván ebben a programozási objektumban (adatbázisban). A homogén gyártási keresztmetszet a teljesítőképesség számítások technológiai kritériumok alapján összeválogatott azon legkisebb termelési halmaz, amelyen belüli bármely egységen közel egyenlő normaidővel hajthatók végre ugyanazon gyártási műveletek.

Az adott tervezési időszakban rendelkezésre álló technikai, technológiai feltételek mellett ezen időkomponensek által definiált időtartam alatt állítható elő az adott egységnyi termék. Ha fizikailag változik (modernizálódik) a technikai, technológiai feltételrendszer, vagy korszerű módszerek, modellek alkalmazásával a meglévő technológia racionalizálására kerül sor (pl. paraméter-optimalizálással), akkor ez a változás új, alacsonyabb időnormákat generál. Ekkor van szükség pl. a normák karbantartására, amely műszaki számításokkal vagy időmérő módszerekkel végezhető el.

12. táblázat

[illegible]

KITÖLTÉSI ÚTMUTATÓ

Az időnorma lapra az összes járatos termék technológia fázisonkénti (homogén termelési keresztmetszetenkénti) gyártási időszükségletét kell beírni a fejléc tagolása szerint.

Rögzíteni kell valamennyi tervezhető technológiai időt (főidő, előkészületi idő, befejezési idő) min/t, illetve min/sorozatnagyság mértékegységben.

3.1.1.3 Átbocsátó képesség normák adatbázisa

Az átbocsátó képesség a kapacitás (adott berendezés teljesítőképességének adott időpontban ismert felső határa) kihasználásának a gyakorlatban realizálható szintjét jelenti. Ennek megfelelően az időalap meghatározásánál a gyártórendszer valós üzemelését jellemző adatokkal számolunk (munkanapok és műszakok száma, a műszakok átlagos valós hossza, üzemelő gépek száma, átlagos kieső idők). Ezek az adatok homogén gépi keresztmetszetként adatbázisba rendezhetők, és csakúgy, mint az időnorma adatbázisnál leírtam – a gyártórendszer üzemelési jellemzőinek változása esetén – aktualizálandóak. Az időnormákból és az időalapokból (egy teljesítménytényezővel korrigálva) kiszámítható minden gyártórendszerbeli homogén keresztmetszet átbocsátóképesség normája, valamennyi járatos termék esetében.

13. táblázat

HOMOGÉN KERESZTMETSZET IDŐALAPJA													
Homogén keresztmetszet megnevezése	n _n		m	I _m			g _n		t _k			I	
Pácoló sor			2										
			3										
Írányváltók			2										
			3										
Simító hengerállvány			2										
			3										
Hőkezelő kemencék			2										
			3										
Kikészítő sorok			2										
			3										

KITÖLTÉSI ÚTMUTATÓ	
<i>Időalap meghatározása homogén gyártási keresztmetszetként:</i>	
$I = n_n \times m \times I_m \times g_n \times \left(1 - \frac{T_{\delta\%}}{100}\right) \text{ (min/hó)}$	
n _n	- időszak (hónap) munkanapjainak száma
m	- munkanap műszakszáma
I _m	- műszak időtartama (min)
g _n	- gépek száma a gyártási keresztmetszetben
T _{δ%}	- időszaki kieső idő aránya (%)

14. táblázat

[illegible]

KITÖLTÉSI ÚTMUTATÓ

Kapacitás norma:

$$N_c = \frac{\frac{t_{eb}}{s} + t_d}{P_{\%}} \times 100 \quad \frac{\text{min}}{\text{tonna}}$$

- | | | |
|------------------------|---|---|
| t_{e,b} | - | előkészületi, befejezési idő <i>(min/sorozat)</i> |
| s | - | átlagos sorozatnagyság <i>(tonna/sorozat)</i> |
| t_d | - | darab idő <i>(min/tonna)</i> |
| P% | - | gépi keresztmetszet átlagos teljesítménye |

3.1.1.4 Termék nyereségfedezeti adatbázis

Valamennyi járatos termék esetében meghatározható az eladási ár, valamint a gyártási működési költségek ismeretében a fedezettartalom, amely adott termék egységének a nyereséghez és a redukált fix költségek fedezéséhez való hozzájárulást jelenti. A számításokat az adott tervezési időszak piaci relációiban érvényesíthető árból kiindulva kell elvégezni az alábbi kalkulációs séma (ún ÁKN struktúra) szerint [32].

Árbevétel (Á)

- redukált proporcionális költségek (K_{pr})

Fedezet (F)

- redukált fix költségek (K_{fr})

Nyeresség (N)

Az egyes termékekre vonatkozó számításoknál csak az árbevétel, a redukált proporcionális költség és a fedezet változását vizsgáljuk. (Ennél az eljárásnál a K_{fr} -t nem osztjuk fel.) A termékek jellemzésére szolgáló fedezetet a következő összefüggéssel számítjuk ki:

$$\bar{a} - k_{pr} = f$$

ahol:

$\bar{a}$ – termékek nettó eladási egységára,

k_{pr} – termékek fajlagos redukált proporcionális költsége,

f – termékek fajlagos fedezete.

Ezek a komponensek meghatározott intervallumon belül egyenes arányban változnak. Ha a fentiek szerint megállapítottuk az egyes termékek fajlagos fedezetét, akkor az adott szervezeti egység, meghatározott időszakra vonatkozó fedezete számítható:

$$F = f_1 Q_1 + f_2 Q_2 + \dots + f_n Q_n$$

ahol:

$Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ az egyes termékfajták mennyisége.

Behelyettesítve az $N = F - K_{fr}$ képletbe:

$$N = \sum_{i=1}^n f_i Q_i - K_{fr}$$

ahol:

n – termékféleségek száma.

Mivel a K_{fr} meghatározott intervallumon belül konstans, praktikusan fedezetmaximum elérésére kell törekedni. Ezért a nyereség tervezésénél arra kell ügyelni, hogy az értékesítési és termelési programba azok a termékek kerüljenek minél nagyobb számban és mennyiségben, amelyek fedezete jó.

A termékek fedezetének minősítéséhez, a vállalati adatok alapján történő „fedezetbonítás” meghatározásához a fedezetet az eladási ár százalékában fejezzük ki. A fedezet az eladási ár százalékában önmagában nem alkalmas a termékek rangsorolására, hiszen a fedezet relatív nagysága mellett igen lényeges azok abszolút nagysága is. A „fedezetbonítás” alapján tehát csak azonos gyártmánycsoportba tartozó termékek rangsorolhatók.

Az adatbázis alapján előállítható egy termékfedezeti rangsor, amely adott programozási időszak rendelésállományának elbírálásához ad információkat és járul hozzá a gazdaságosabb termékválaszték összeállításához.

A termékfedezeti adatbázis szerkezetét a 15. táblázat mutatja be.

15. táblázat

[illegible]

KITÖLTÉSI ÚTMUTATÓ

A termékfedezeti norma lap termékenként tartalmazza a termék fajlagos (egy tonnára vetített) fedezettartalmát *Ft/tonna* mértékegységben, szűkített önköltség szintű kalkuláció szerint.

A fedezeti érték adatának beírására 5 karakter áll rendelkezésre, míg a fedezeti hányad 3 karakterű.

A fedezet hányad (fedezetbonitás) a termék fedezetét az eladási ár százalékában fejezi ki.

3.1.1.5 Technológiai adatbázis

A technológiai adatbázis egyrészt a rendelések gyárthatósági vizsgálatához ad információkat a gyártórendszer aktuális műszaki (technikai, technológiai) és az ebből közvetlenül származtatható minőségi teljesítőképességének paramétereit tartalmazva, másrészt rendszerbe foglalja mindazokat az adatokat, amelyek kigyűjtendők a már befogadott (programba állított) rendelések legyártásához szükséges technológiai utasítások utalványozásához.

Ebben az adatbázisban kell, hogy helyet kapjon a *2.1 fejezetben* tárgyalt technológia optimalizálás eredményeképpen kialakult hengerlési paraméter sor, továbbá a *2.2 fejezetben* a kétfázisú hengerlés modellezése révén kidolgozott összetartozó szúrási és lágyítási tervek adatai.

TECHNOLÓGIAI ADATBÁZIS SZERKEZETE

(részlet)

16. táblázat

1.	Termékválaszték – járatos termékek paramétere		
2.	Szabványok, Műszaki feltételek, Vevőkhöz kapcsolódó utasítások, Belső szabályozások		
2.1		Méretszabványok	
	2.1.1		Mérettűrések megengedett eltérés fokozatai
		2.1.1.1	Vastagsági mérettűrés előírásai
		2.1.1.2	Szélességi mérettűrés előírásai
		2.1.1.3	Hosszúsági mérettűrés előírásai
	2.1.2		Síkfekvés tűrés tábla lemezekre - megengedett eltérés fokozatai
		2.1.2.1	Síkfekvési előírások tábla
		2.1.2.2	Síkfekvési előírások tekercs
	2.1.3		Derékszögűség
	2.1.4		Kardosság
	2.1.5		Íveltség (végfelhajlás)

2.2		Minőségszabványok	
	2.2.1		Minőségek
		2.2.1.1	Vegyei összetételi előírások
		2.2.1.2	Mechanikai előírások
	2.2.2		Felületi kivitel (érdesség)
2.3		Minőségtanúsítás szabvány	
2.4		Próbázási előírások	
	2.4.1		Próbaperiódusok meghatározása
	2.4.2		Hideghengerműi tekercsek vizsgálatkérése és szabadítása
	2.4.3		Nyerspróba méretek
2.5		Csomagolás szabvány	
3.	Gyártástechnológiai adatok gyártási fázisonként		
3.1		Alapanyag rendelés	
	3.1.1		Alapanyag mérete a kikészítői méret és készárú minőség függvényében
	3.1.2		Meleghengerműi bugatípusok
	3.1.3		Alapanyag minősége a késztermék minőség függvényében
		3.1.3.1	Vegyi összetételi előírások
		3.1.3.2	Mechanikai előírások
		3.1.3.3	Csiszolásra vonatkozó előírás
		3.1.3.4	Hengerlési véghőmérséklet
		3.1.3.5	Csévélési hőmérséklet
		3.1.3.6	Hengerlési diagram
3.2		Pácolás	
3.2.1		Tekercsképzési előírás a melegen hengerelt tekercsek pácolásakor	
3.2.2		Garnitúra szabály	
3.2.3		Beadási hőfok	
3.2.4		Páckád előírás	
3.2.5		Mosókád előírás	
3.2.6		Sebesség	

3.3		Hengerlés	
	3.3.1		Garnitúra szabály
	3.3.2		Alkalmazott hengerdomborítások
	3.3.3		Hengerérdesség
	3.3.4		Emulzió
	3.3.5		Szúrásterv – optimalizált paraméterek szerint
		3.3.5.1	Magasságcsökkenés
		3.3.5.2	Hengerlési erő
		3.3.5.3	Hengerlési sebesség
		3.3.5.4	Fékező erő
		3.3.5.5	Húzó erő
3.4		Hőkezelés	
	3.4.1		Egyfázisú hőkezelési előírások
		3.4.1.1	Adagképzési előírások
		3.4.1.2	Hőkezelési paraméterek, szabályok
	3.4.2		Kétfázisú hőkezelési előírások
		3.4.2.1	Adagképzési előírások
		3.4.2.2	Hőkezelési paraméterek, szabályok

3.1.2 Algoritmus tervek

Az algoritmusra a gördülő tervezési elv a jellemző.

A hideghengerművekben általában egy év a leghosszabb gyártástervezési időszak, amelyet negyedévekre, továbbá hónapokra és hetekre bontanak.

Tapasztalataim szerint túlnyomó részt bázis alapú a tervezés, a lebontást pedig (esetleg a szezonalitást vagy nagyobb hatású piaci trendeket figyelembe véve) arányosítással végzik.

A mennyiségi szemlélet miatt tonnában határozzák meg a produktumot, figyelmen kívül hagyva, hogy a munka- és időráfordítás, valamint a költségráfordítás nem lineárisan változik a mennyiséggel. (A vékonyabb lemezek magasabb ráfordítás igényt képviselnek a tervek termékösszetételében.)

Emiatt gyakoriak a tervteljesítési problémák és a határidő bizonytalanság.

A gördülő tervezés nem statikusan szakaszolja az időtengelyt, hanem minden tervezési időszinten az idő múlásával egységenként, dinamikusán léptet, vizsgálva az állandóan változó feltételeket és alkalmazkodva azokhoz. Az előzőekben ismertetett adatbázisra építve meghatározhatóak azok az alapvető algoritmusok, amelyek kiküszöbölik a fenti problémát, új alapokra helyezik a hideghengerműi termelés tervezést és gyártásirányítást. A továbbiakban ezeket az algoritmusokat ismertetem.

3.1.2.1 Durva programozás

Termelés - átbocsátó képesség vizsgálat



Input adatbázis törzs adatok



Kapacitás norma homogén gépi keresztmetszetenként, vezértermékben kifejezve ($t/hó$)



Gyártási normaidők (min/t)



Alapanyag felhasználási normatívák (t/t)



Termék fedezeti normák (Ft/t , %)



Input változó adatok



Termék megrendelés (méret, mennyiség, anyagminőség, határidő)



Gyártási technológia, gyártási sorrend, sorozatok



Egyenértékszámok

Fő művelet (1): Tárgyhavi megrendelések legyárthatóságának vizsgálata: *szűk keresztmetszet átbocsátó képessége =, > terv szerinti mennyiség*

Abban az esetben, ha a relációban ">" feltétel teljesül, kapacitás lekötő programot kell összeállítani, amelynek szempontjai: eladhatóság, maximális nyereség.

Kapacitás (átbocsátó képesség) meghatározása vezértermékben:

$$C_v = \frac{I}{N_c} \quad (tonna/időszak)$$

Szűk keresztmetszet meghatározása:

A homogén gyártási keresztmetszetek vezértermékben kifejezett átbocsátó képességei közül a legkisebb.

Fő művelet (2): Tárgyhavi megrendelések gazdaságossági vizsgálata:
*az összes legyártható megrendelés fedezetei közül maximalizáló
célfüggvény alapján az optimális termékösszetétel kiválasztása.*



Output oldali adatok



Tárgyhónapban legyártható megrendelések és esetleges kapacitás kitöltő termékek (méret, mennyiség, anyagminőség, határidő)



Átbocsátó képesség kihasználtsága homogén gépi keresztmetszetenként (%)



Havi terv alapanyag szükséglete (méret, mennyiség, anyagminőség, határidő)



Tárgy hónapban várhatóan képződő átlagos fedezet (Ft/t), átlagos fedezeti hányad (%)



Rendelés visszaigazolás

3.1.2.2 Finom programozás

Termelés - átbocsátó képesség vizsgálat



Input oldali adatok

Megkötött szerződések

Havi program

Fő művelet: Gyártás ütemezés (kezdés, befejezés meghatározása)



Output oldali adatok



Sorozat átfutási idő (óra időlépték szerint)

Gyártás kezdése és befejezése technológiai fázisonként korábbi zavarok miatti átprogramozások figyelembevételével.

Nyereség maximalizálás



Input oldali adatok



Megkötött szerződések termékeinek nyereségfedezeti adatai (Ft/t)



Időszakra megrendelt termékek volumene (t)

Fő művelet: Optimális termékösszetétel, terhelés-átbocsátó képesség együttes vizsgálata



Output oldali adatok



Tárgyhéten legyártható szerződéses megrendelések és esetleges kapacitás kitöltő termékek (méret, mennyiség, anyagminőség, határidő)



Átbocsátó képesség kihasználtsága homogén gépi keresztmetszetenként (%)



Elérhető max. nyereség (Ft)

Termékkövetés



Input oldali adatok

Gyártási lapok
Heti program
Napi program
Készrejelentés

Fő művelet: Gyártás előrehaladásának ellenőrzése, zavarelhárítás



Output oldali adatok



Adott szerződés teljesítési helyzete



Termelési keresztmetszetek félkész és befejezetlen készlete



Adott sorozat/tekercs tényadatai



Eltérések a tervezett paraméterektől

A termelésirányítás tervezési és programozási funkciói a készáru raktárra adásával érnek véget.

A vázolt termeléstervezési és programozási rendszer bevezetésével várhatóan

- csökkenthetők mind a gyártásközi, mind a készáru készletek,
- javul a programszerűség és a határidő biztonság,
- nő a kapacitás kihasználás, egyenletesebbé válik a terhelés,
- minimálisra csökken a manuális műveletek aránya,
- átstrukturálódik és csökken a humán erőforrás szükséglet,
- felgyorsul a döntésekhez szükséges információk áramlása.

A rendszer fejlesztéséhez egyedi szoftver megírására és bevezetésére van szükség, amely rugalmas, tehát adaptálható más hasonló gyártási karakterisztikájú vállalatok esetében is.

A továbbiakban áttekintem a rendszerfejlesztés fő költségcsökkentési hatásait.

3.2 A rendszerfejlesztés költségcsökkentési hatásainak vizsgálata

Az előzőekben vázolt hideghengerművekben kifejleszthető és alkalmazható gyártásirányítási rendszer, mint ahogy néhányszor már rávilágítottam, több ponton is kapcsolódik a technológiafejlesztés problémaköréhez (technológia racionalizálási modellek beépülése a gyártás irányításába, műszaki fejlesztés hatása az időnormákra és időalapokra) ezáltal lehetővé téve a technológiai átfutási idő csökkentésének számszerűsítését és megalapozva (a végrehajtó folyamatok törvényszerűségeinek megismerésén keresztül) a tudatos beavatkozást az olcsóbb lehetőségek révén is a gyártási költségek csökkentése érdekében.

A technológia irányából történő, előzőekben vázolt beavatkozások egyrészt a fajlagos energia költségek (befektetett alakítási munka) csökkenése irányába hatnak, másrészt átfutási idő rövidülési/átbocsátóképesség növelési hatásuk is létezik.

A rendszer irányításának magasabb szintű művelésével elsősorban közvetett (direkt módon kevésbé, többnyire áttételesen mérhető, vagy inponderábilis) gazdasági hatásokat idézhetünk elő.

Három ilyen hatást vizsgállok a következőkben, amelyek mindegyike egy-egy részoptimum elérését teszi lehetővé a nyereség maximalizálása (költségek csökkentése / árbevétel növelése) szempontjából.

3.2.1 Készletszintek csökkenése

A gyártás előrehaladása során az alakító és logisztikai műveletek feltétele, ill. következményeként az alábbi készlet típusok különíthetők el hideghengerművek esetében:

1. A gyártás tárgyát képező készletek
 - a) alapanyag (melegtekercs, vékony lemezbuga)
 - b) félkész (két gyártási fázis között várakozó készlet)
 - c) befejezetlen (megmunkálás alatt álló készlet)
 - d) selejt (javítható, végleges)
 - e) készáru (becsomagolt tábla, tekercs)

2. A gyártás műszaki feltételeit képező készletek
 - a) gyártóeszközök (pl.: kénsav, sósav, hengerek, ollók, stb.)
 - b) mérő eszközök (vegyi, mechanikai, alaki, tulajdonságokat, méretet ellenőrző műszerek, stb.)
 - c) segéd anyagok (pl.: karbantartási anyagok, hűtő-kenő folyadék, kenőanyagok, savregeneráló anyagok, stb.)
 - d) energia (villamos energia, gázenergia, stb.)
 - e) csomagoló anyagok (lemezek, szalagok, papír, festék, stb.)

Fenti felosztást azért tartottam fontosnak, hogy segítségével rendszerszemléletűen megvizsgálhassuk, mely típusokra fejt ki készletszint csökkentő hatást az előzőekben ismertetett termelésirányítási rendszerfejlesztés. A feltételezett hatásokat a *17. táblázatban* foglalom össze.

A rendszerfejlesztés készletszint csökkentő hatásai

17. táblázat

Sor-szám	Készlet típus megnevezése	Közvetlenül ható tényező	Közvetetten ható tényező
1/a	Alapanyagok	Az alapanyag norma bevezetésével csökken a fajlagos igény.	
		A programszerűség fokozásának felső határa a „just in time” készletezés.	
1/b	Félkész	Az átfutási idő alkalmazása a programozásban csökkenti a várakozó készletek nagyságát.	
1/c	Befejezetlen		A technológiai idő rövidülésével csökken a darabidő.
1/d	Selejt	A valós idejű visszacsatolás növeli a nem megfelelőségi döntések gyorsaságát.	Az utalványozott technológia szerinti gyártás csökkenti a selejtképződés valószínűségét.
1/e	Készáru	A határidőre történő gyártás elvileg azonnali kiszállítást tesz lehetővé.	
2/a	Gyártóeszközök	A technológiai paraméterek tervszerű utalványozása megnöveli az élettartamot.	A programszerűség növekedésével csökken a biztonsági tartalék szükséglet.
2/b	Mérőeszközök		A minőség javulásával csökken az ellenőrzés gyakorisága.
2/c	Segédanyagok	A tervszerűség fokozásával normázhatóvá válik felhasználásuk.	A programszerűbb üzemelés kisebb karbantartás igényű.
2/d	Energia	A sorozatnagyság növelése csökkenti a megszakítások gyakoriságát.	Az optimális technológia alkalmazása csökkenti a fajlagos felhasználást.
2/e	Csomagoló anyagok	A gyártás programszerűségének fokozása növeli a célirányos készletezés lehetőségét.	

A nagyobb volumenű költségmegtakarítás természetesen a gyártási készletek csökkenésével érhető el. Az alábbiakban ezt vizsgálom.

Ennek számszerűsítése megközelítő pontosságú lehet csupán a rendszerfejlesztés előtti, illetve utáni összehasonlítható időszakok átlagos gyártási átfutási idői alatt lekötött összes készlet értékek különbségeként.

A gyártási készletérték csökkenése az alábbiak szerint számítható.

$$\begin{aligned} E_{Kcsökk} &= E_K - E'_K \\ E_K &= T_{gy} K \\ E'_K &= T'_{gy} K' \quad , \text{ ahol} \end{aligned}$$

- E_K – az átlagos gyártási átfutási idő alatt lekötött összes készlet átlagos értéke a rendszerfejlesztés előtt (eFt)
- E'_K – az átlagos gyártási átfutási idő alatt lekötött összes készlet átlagos értéke a rendszerfejlesztés után (eFt)
- T_{gy} – átlagos gyártási átfutási idő a rendszerfejlesztés előtt (nap)
- T'_{gy} – átlagos gyártási átfutási idő a rendszerfejlesztés után (nap)
- K – a gyártórendszerben lekötött napi átlagos készletérték a rendszerfejlesztés előtt (eFt/nap)
- K' – a gyártórendszerben lekötött napi átlagos készletérték a rendszerfejlesztés után (eFt/nap)

Pl.: 100 MFt átlagos napi készletérték és 10 napos átlagos átfutási idő esetében 1 milliárd forintnyi készlet van lekötve a gyártórendszerben.

Ha feltételezzük, hogy a rendszerfejlesztés következtében 10 %-kal csökkenthető a lekötött készletek átlagos értéke (90 MFt), továbbá 1 nappal (szintén 10 %-kal) rövidíthető az átlagos átfutási idő (9 napra), akkor ebben az esetben átlagosan 810 MFt készletet tartunk lekötve a gyártórendszerben, tehát 190 MFt átlagos készletérték csökkenést értünk el.

Ezt a megtakarítást tőkésítve számíthatjuk ki a fejlesztés készletszint csökkenésében megmutatkozó hozamot, amely 10 %-os kamatlábbal kalkulálva egy év alatt 19 MFt.

3.2.2 Határidő biztonság növekedése

A gyártórendszer határidő biztonságán egy vizsgálati időszak vevői által igényelt időpontjai, valamint a megrendelt termékek megfelelő mennyiségű és minőségű legyártásának (készáru raktárra adásának) időpontjai közötti viszonyát értjük. Ezt a viszonyt általában a vizsgálati időszakon belüli időpont-különbségek átlagaként szám-szerűsíthetjük.

Legkedvezőbb egyedi eset a két időpont egybe esése (100 %-os biztonság).

Kedvező lehet a korábbi legyártás állapota is, ha a vevő értékeli az előszállítást.

A napjainkban terjedő „just in time” beszállítói rendszerekben ez egyre inkább kizárható, így a készáru készlet lekötési vesztesége a szállítót (gyártót) terheli, tehát nem kívánatos állapot a határidő előtti legyártás sem.

Legkedvezőtlenebb eset, ha a különbség negatív, vagyis a legyártás késedelmet szenved.

Mindezt matematikai alakban megfogalmazva

$$H_{bzt} = \frac{\sum_{i=1}^n |H_{megr_i} - H_{tényl_i}|}{n} [nap] \quad , ahol$$

H_{bzt} – határidő biztonsági mutató,

n – a vizsgált időszaki teljesítéssel megkötött szerződések legyártandó tételeinek száma,

H_{megr_i} – az i -ik tétel megrendelt határideje,

$H_{tényl_i}$ – az i -ik tétel legyártásának időpontja.

Súlyozott alakban:

$$H_{bzt} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i |H_{megr_i} - H_{tényl_i}|}{\sum_{i=1}^n Q_i} [nap] \quad , ahol$$

Q_i – az i -ik tétel nagysága.

Minél hosszabb a megválasztott vizsgálati időszak, annál hitelesebb a határidő biztonsági mutató.

Természetesen az időszak kijelölésénél fontos feltétel, hogy tartama alatt a gyártórendszer nagysága, összetétele, irányító szervezetének felépítése, humán erőforrásának színvonala ne változzon, hiszen ezek a tényezők hatnak a határidő biztonságra. Fenti tényezők fejlesztésének sikere is mérhető (többek között) H_{bizt} mutató csökkenésével.

Azt mondhatjuk tehát, hogy minél nagyobb a határidő biztonságot minősítő mutatószám, vagyis az időszak eltérések abszolút értékeinek átlaga (még kifejezőbb a megrendelt mennyiséggel való súlyozás), annál bizonytalanabb a gyártási rendszer, annál alacsonyabb a programozási színvonal.

A határidő csúszások miatti veszteséget, illetve a rendszerfejlesztés hozamaként jelentkező határidő biztonság miatti nyereség növekedést nehéz számszerűsíteni, hiszen mindkét esetben egyedi vevők reakcióinak következményeit (megrendelések elmaradása, illetve megrendelések növekedése) kellene értékben kifejezni.

Alapos elemző marketing munkával nem kizárt ennek a vizsgálatnak a sikere.

Összegezve azt mondhatjuk, hogy a rendszerfejlesztés eredményeként számszerűen kimutatható a határidő biztonság javulása (vagyis az átlagos eltérések csökkenése), de az ezzel járó hozam rövid távon legfeljebb a kötbérek csökkenésével/megszűnésével mutatható ki, hosszabb távon pedig a vevői elégedettség, ill. az ebből származó megrendelések növekedésével értékelhető.

3.2.3 Kapacitás kihasználás növekedése

A termelési kapacitás valamely termelési egység (homogén keresztmetszet) teljesítőképességének adott időpontban ismert felső határa.

Jellemzője, hogy tervezésekor nem az átlagos, hanem a számításokkal igazoltan megvalósítható, legkedvezőbb körülményeket feltételezzük (maximális időalap, optimális sorozatnagyság, legnagyobb teljesítmény).

A gyakorlatban az időalapot csökkentjük a tervezhető kieső időkkel (karbantartási idő, pihenő idő, megszakítások, átlagos veszteségidő). A sorozatnagyságot nem minden esetben lehet optimálisra választani és a gyakorlatban nem a kiugró, hanem az átlagos teljesítménnyel számolunk.

A kapacitás kihasználtsága tehát fenti tényezők miatt sem lehet 100 %-os, viszont törekedni kell a minél nagyobb mértékű megközelítésére.

Nyílt tartaléknak nevezi a szakirodalom [33] azt a számokkal kifejezhető kihasználtságbeli különbséget, amely a tényleges átbocsátó képesség és a kapacitás között van.

Ennek a tartaléknak a mobilizálása nem a berendezések korszerűsítésével, hanem azok jobb kihasználásával (az emberi munka magasabb színvonalú megszervezésével) érhető el.

A kapacitás gyakorlati megközelítésének (kihasználtságának) mérésére bevezetnek egy mutatót, amely az alábbiak szerint definiálható.

Kapacitás kihasználtsági faktor (K_h):

$$K_h = \frac{A}{C} \cdot 100 \quad [\%], \quad \text{ahol}$$

A – tényleges átbocsátó képesség,

C – kapacitás.

$$A = \frac{I_A}{N_A} \quad \text{és} \quad C = \frac{I_C}{N_C}, \quad \text{ahol}$$

I_A – a tényleges átbocsátó képesség időalapja,

N_A – tényleges átbocsátó képesség norma,

I_C – a kapacitás időalapja,

N_C – kapacitás norma.

A teljesítőképességre való ráhatás szempontjából az időalapot extenzív, míg a normákat intenzív tényezőknek nevezzük.

Extenzív tényező (időalap) számítása általában:

$$I = n_n \cdot m \cdot I_{mh} \cdot g_n \left(1 - \frac{\sum t_{\delta\%}}{100} \right), \quad \text{ahol}$$

I – a homogén gépi keresztmetszet időalapja az időszak alatt [óra],

n_n – az időszak napok száma,

m – az egy napon belüli műszakok száma,

I_{mh} – egy műszak hasznos időtartama [óra],

g_n – a homogén keresztmetszet gépeinek száma,

$\sum t_{\delta\%}$ – a homogén keresztmetszet átlagos üzemszüneti idejének aránya [%].

A 18. táblázat rendszerezi az átbocsátó képesség ill. a kapacitás időalap meghatározásainak eltéréseit.

Az extenzív tényezők meghatározása

18. táblázat

Sor-szám	Tényező komponens jele	Meghatározás tartalma	
		Átbocsátó képesség I_A	Kapacitás I_C
1.	n_n	Az időszak munkanapjainak száma	Az időszak összes naptári napjainak száma
2.	m	Valós műszakszám	Maximális műszakszám
3.	I_{mh}	A műszak teljes időtartama csökkentve a pihenő időkkel	A műszak teljes időtartama
4.	g_n	A homogén keresztmetszet termelőképes gépszáma	A homogén keresztmetszet teljes gépszáma
5.	$t_{\delta\%}$	A tervezett és azon kívüli váratlan meghibásodások miatti karbantartások, valamint az eredménytelen munkaráfordítások (selejt) időaránya az összes időalapon belül.	A tervezett karbantartások összes időalapon belüli aránya

A táblázatból következtethetünk arra, hogy termelésirányítási rendszerfejlesztéssel az extenzív tényezőre hatni nem tudunk.

Az intenzív tényező (norma) számítása általában:

$$N = \frac{\frac{t_{e,b}}{s} + t_d}{P_{\%}} \cdot 100, \quad \text{ahol}$$

N – egységnyi termék előállításához szükséges időmennyiség $[min/t]$,

$t_{e,b}$ – előkészületi és befejezési idő $[min]$,

s – sorozatnagyság $[t]$,

t_d – darabidő $[min/t]$,

$P_{\%}$ – teljesítmény százalék $[\%]$.

A 19. táblázat rendszerezi az átbocsátó képesség, ill. kapacitás norma meghatározásainak eltéréseit.

Az intenzív tényezők meghatározása

19. táblázat

Sor-szám	Tényező komponens jele	Meghatározás tartalma	
		Átbocsátó képesség N_A	Kapacitás N_C
1.	$t_{e,b}$	A vizsgálati időszakra irányadó technológiából származtatott időtartam	A vizsgálati időszakban alkalmazható legfejlettebb technológiából származtatható időtartam
2.	s	Időszakra tervezett sorozatnagyság	Gazdaságos sorozatnagyság
3.	t_d	A vizsgálati időszakra irányadó technológiából származtatott időtartam	A vizsgálati időszakban alkalmazható legfejlettebb technológiából származtatható időtartam
4.	$P_{\%}$	Az időszak átlagos teljesítménye	A legkedvezőbb termelési feltételek mellett megvalósítható kimagasló teljesítmény

A táblázatból látható, hogy az optimális technológia alkalmazása az intenzív tényezőt javítja, vagyis lerövidíti $t_{e,b}$; t_d időket, ezáltal fokozza a kapacitáskihasználást, növeli a K_h mutatót.

A termelésirányítási rendszerfejlesztés fontos része tehát, hogy – szoros kapcsolatot tartva a technológiai fejlesztés szakterületével – segítse a kidolgozott legfejlettebb technológiák bevezetését, és ennek hatására aktualizálja a norma adatbázist. Ennek következménye az átfutási idő rövidülése, a termelékenység növekedése lesz.

Az átbocsátó képesség norma kapacitás normához való közelítésében (K_h növelésében) fontos szerepe van a sorozatnagyságnak, vagyis a hengerlési programon belül a hengerlendő tételek nagyságának [34]. A tételsúlyok növekedésével csökken a fajlagos előkészületi és befejezési idő nagysága, továbbá a hengerek kopását figyelembe vevő garnitúra elv érvényesítése a sorozatképzésben szintén csökkentőleg hat a $t_{e,b}$ -re a munkahenger-cserék számának csökkentése révén [37,40].

3.3 A termelésirányítási rendszer fejlesztésével elérhető optimalizálási lehetőségek

Az előzőekben a rendszerfejlesztés három hatásterületét mutattam be. Mindhárom esetben kísérletet tettem a hatás matematikai összefüggéseken alapuló számszerűsítésére.

Ezek szerint megfogalmazható három rész optimum képzési feladat (célfüggvény).

- a) Adott programozási időszak (hónap) átlagos gyártási átfutási ideje alatt lekötött gyártási készletek minimalizálása

$$E_K \rightarrow \min. !$$

- b) Adott programozási időszak (hónap) gyártási határidő biztonságának maximalizálása (határidő bizonytalanság minimalizálása).

$$H_{\text{bizi}} \rightarrow \min. !$$

- c) Adott programozási időszak (hónap) kapacitás kihasználtságának maximalizálása.

$$K_h \rightarrow \max. !$$

A teljes rendszer szempontjából a három részoptimum együttes teljesülését ki kell zárunk, mivel azok kialakulására egymás ellen ható tényezők is hatással vannak.

Például a gyártásközi készletek (főként az összehangolást szolgáló pufferek) csökkentésével csökkenhet a kapacitás kihasználás, ill. fordítva a nagyobb kapacitás kihasználásra való törekvés az alapanyag és félkész készletek növelését teszi szükségessé.

A kapacitás kihasználás növelése (különösen nagyszámú, de kis volumenű megrendelések esetében, ami számos hengerű jellemzője) csökkenti a határidő biztonságot.

A határidő biztonság növelésének viszont túlkészletezés lehet a következménye.

Azt mondhatjuk tehát, hogy a rész rendszerek optimumaira épülő teljes rendszer optima valamely rész optimummal esik egybe.

Azzal a rész optimummal, amely a teljes rendszer esetében megfogalmazott célfüggvényt legjobban kielégíti.

A teljes rendszer célfüggvénye esetünkben nem más, mint a nyereség maximalizálása.

Fenti feladatot a gyakorlatban vagy spontán módon kezelik, vagy ha fel is ismerik az optimalizáció lehetőségét), azt heurisztikus módszerekkel, tapasztalati úton oldják meg.

A feladat bonyolultsága és sztochasztikus jellege rendszerszemléletű megoldást igényel.

Szükség van egy modell megalkotására, amely egy lineáris programozási algoritmus alkalmazásával vezet eredményre.

A modellt az alábbi elemek alkotják:

Alap feladat: A gépi kapacitások milyen mértékű kihasználása, a termékek milyen arányú összetétele biztosítja a gyártórendszer fő célkitűzés szerinti optimális működését?

Változók: A különféle termékek mennyiségei.

Korlátok:

- homogén gépi keresztmetszetek átocsátó képessége,
- megrendelt fix mennyiségek, mint kötelezően gyártandó minimális volumen,
- piaci eladhatósági korlátok (pl. maximálisan értékesíthető mennyiség),
- piaci beszerzési korlátok (pl. maximálisan beszerezhető alapanyag mennyiség).

Paraméterek: Fajlagos erőforrás igény
(a korlátok és a változók közötti viszonyszámok).

*Célok*¹.:

- Maximális nyereség,
- Maximális kapacitás kihasználás.

Megoldások: Gyártmány összetétel variánsok.

¹ A célok között nem szerepel a határidő biztonság maximalizálása és a készletek minimalizálása, mivel a lineáris programozási modellben nem számszerűsíthetők. Megoldásukkal később foglalkozom.

A továbbiakban egy kétváltozós eseten keresztül mutatom be grafikusan a modell alkalmazását, valamint a megoldás algoritmusát.

A 20. táblázatban a modell elemeit rendszerezem.

A kétváltozós optimalizációs modell elemei

20. táblázat

Korlátok fajtái	Paraméterek		Korlátok mértéke
	1. termék	2. termék	
k ₁ hengersor	$f_1^{(1)}[\text{min}/t]$	$f_1^{(2)}[\text{min}/t]$	K ₁
k ₂ hőkezelő	$f_2^{(1)}[\text{min}/t]$	$f_2^{(2)}[\text{min}/t]$	K ₂
k ₃ dresszírozó	$f_3^{(1)}[\text{min}/t]$	$f_3^{(2)}[\text{min}/t]$	K ₃
k ₄ daraboló	$f_4^{(1)}[\text{min}/t]$	$f_4^{(2)}[\text{min}/t]$	K ₄
k ₅ min.gyártandó	$f_5^{(1)}[t]$	$f_5^{(2)}[t]$	K ₅
k ₆ max.gyártható	$f_6^{(1)}[t]$	$f_6^{(2)}[t]$	K ₆
k ₇ max.alapanyag	$f_7^{(1)}[t]$	$f_7^{(2)}[t]$	K ₇

Korlátozó feltételek

Ha x_1 jelöli az 1. termék gyártandó mennyiségét és x_2 jelöli a 2. termék gyártandó mennyiségét (változók), akkor pl. a hengersor átbecsátó képessége (mint korlát) átenged minden olyan termék féleséget, amelynek hengerlési időszükséglete nem haladja meg K_1 értéket, vagyis

$$f_1^{(1)} + f_1^{(2)} \leq K_1$$

és így tovább a többi feltételekre

$$f_2^{(1)} + f_2^{(2)} \leq K_2$$

$$f_3^{(1)} + f_3^{(2)} \leq K_3$$

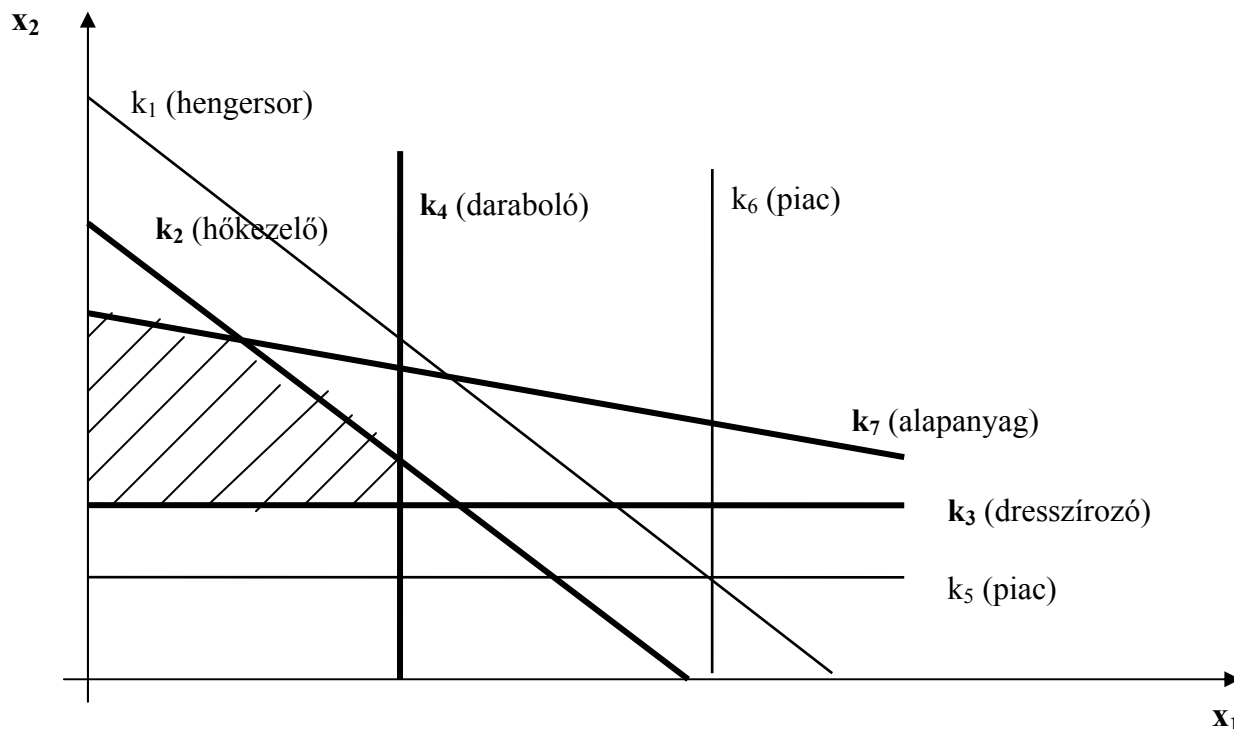
$$f_4^{(1)} + f_4^{(2)} \leq K_4$$

$$f_5^{(1)} + f_5^{(2)} \geq K_5$$

$$f_6^{(1)} + f_6^{(2)} \leq K_6$$

$$f_7^{(1)} + f_7^{(2)} \leq K_7$$

A 25. ábra a korlátozó feltételek fiktív poligonját szemlélteti.



25. ábra. A korlátozó feltételek fiktív poligonja

Az ábrán a sraffozott terület (az x_1 , x_2 síkon a korlátozó feltételek által kijelölt konvex tartomány) jelenti az optimalizációs feladat lehetséges megoldásainak halmazát.

Csak olyan termék választékok valósak, amelyek nem negatív mennyiségű 1. és 2. jelű termékekből állnak.

Fenti példában nem kizárható megoldás $x_1=0$ mennyiség sem, mivel az 1. jelű termék előállításának nincs alulról korlátozó feltétele.

A gyártórendszer működtetésének két fő célkitűzése, amelyek a modellben matematikailag megfogalmazhatók az alábbiak:

C_1 : a gyártható mennyiségek maximuma
(maximális kapacitás kihasználás),

C_2 : a realizálható fedezet maximuma
(maximális nyereség).

A modellben a két célfüggvény szerinti megoldás nem feltétlenül esik egybe, hiszen az egyes termékek fedezet tartalma általában nem azonos.

Az optimalizáció elvégzéséhez szükség van a célfüggvények egyenleteinek felírására.

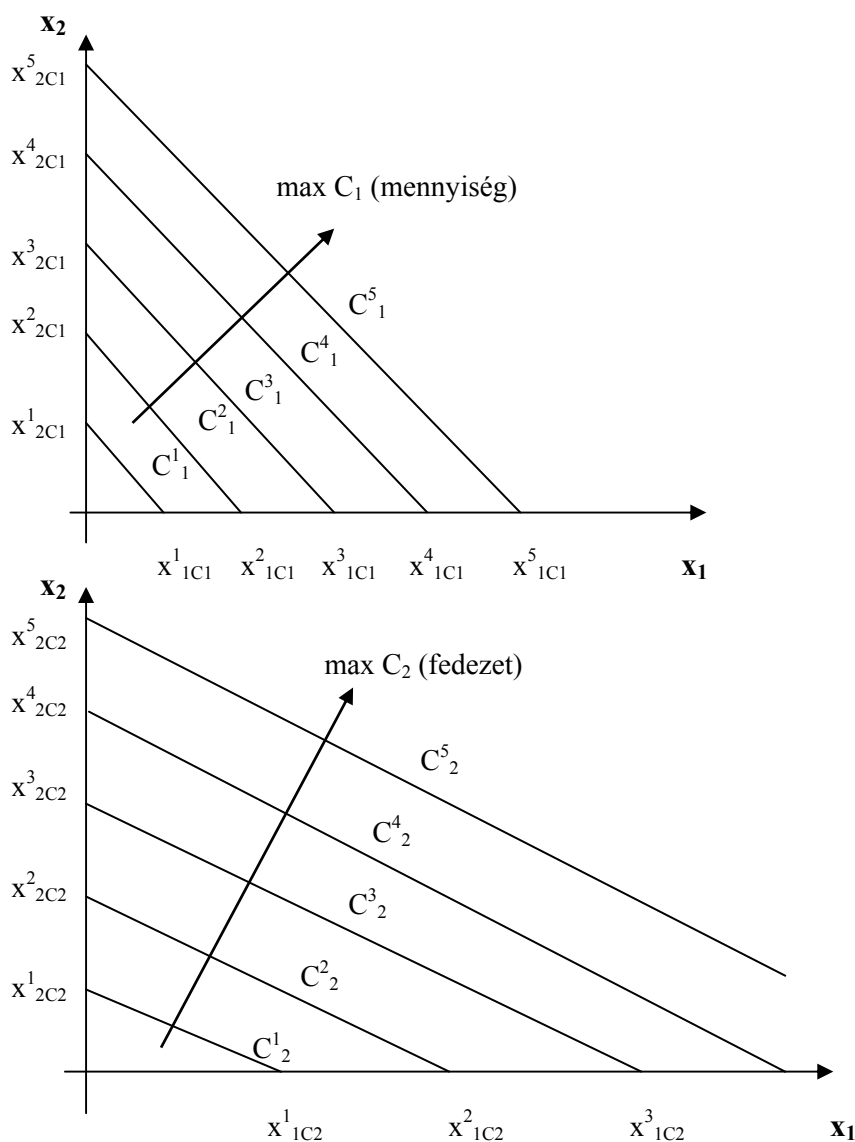
Maximális mennyiség:

$$\max C_1 = \max (x_1 + x_2)$$

Maximális fedezet (nyereség):

$$\max C_2 = \max (f_1x_1 + f_2x_2)$$

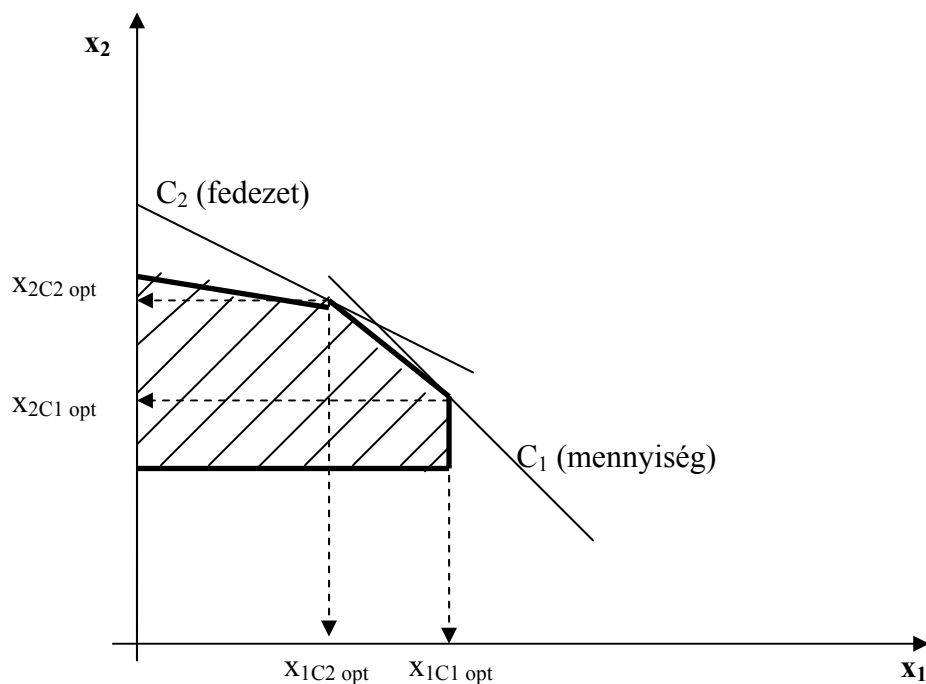
A célokat az x_1, x_2 síkon szintvonalakkal és gradienssel ábrázolva szemléltethető, hogy a maximumot adó termékválasztéknak megfelelő pont az adott célfüggvény esetében az origótól merre keresendő (26. ábra).



26. ábra. A célfüggvények szintvonalai és gradiensei

Az optimalizáló algoritmus következő lépése a korlátok és célok összevetése.

A konvex tartományon (vagyis a lehetséges termékválasztékok halmazában) értelmezett lineáris függvény, a célfüggvény szélső értékét (jelen esetben maximumát) a konvex tartomány valamelyik határán veszi fel (27. ábra).



27. ábra: A korlátok és célok által meghatározott optimum pontok a konvex tartományban

Fenti modell alkalmazását kétváltozós esetre grafikusán mutattam be, de a modell természetesen több változó (n-féle termék) esetében is alkalmas optimalizálásra.

Ekkor n-dimenziós térben keresendő(k) a szélső érték(ek).

A vállalat vezetése maga dönti el, hogy mely célfüggvény szerint optimalizál, mozgásterét a mindenkor korlátozó feltételek befolyásolják. Adott programozási időszakra meghatározható tehát olyan termék összetétel, amely az aktuális, számszerűsíthető peremfeltételek által határolt halmazon belül kielégíti a vállalat optimum követelményét.

A modell alapján bonyolult (sokváltozós) gyakorlati esetek megoldására kidolgozható és beépíthető egy optimalizációs modul a termelésirányítási szoftverbe.

A modul algoritmusai a még szerződéssel le nem kötött rendelés állomány fel-
dolgozásában hatékonyan támogatják a kiválasztott célfüggvény szerinti legjobb ter-
mékösszetétel és volumen meghatározását. Ez az optimális termék összetétel képezheti
alapját a 3.1.2 fejezetben ismertetett durva és finom programozásnak.

Előzőekben definiált, de a modellben nem tárgyalt két célfüggvény a készlet
minimalizálása, ill. a határidő biztonság maximalizálása.

Ezek a célfüggvények nagymértékben összefüggenek a kapacitás kihasználásával és
teljesíthetőségüket a gyártás ütemezése befolyásolja.

A gyártás ütemezése, vagyis a kapacitások leterhelésének időbeli tervezése két irány-
ból történhet.

a) Legkésőbbi kezdési időpont szerinti ütemezés

A gyártási sorozat elkezdésének legkésőbbi időpontja a teljesítési határidőből a
műveleti és műveletközi idők ($t_d + t_{e,b} + t_{köz}$) kivonásával határozható meg. Ebből
az adódik, hogy a legkésőbbi kezdési határidőkhöz igazodó gyártási program mi-
nimalizálja a termelésben lekötött félkész készletek mennyiségét, és garantálja a
határidő biztonságot, bár –, ha tartalékidőt nem tartalmaz – veszélyezteti a határidő
biztonságot.

Tehát megállapítható, hogy ez a típusú programozás a készletek minimalizálását
kielégíti, de a határidő biztonságot – üzemzavar esetén – veszélyeztetheti.

A kezdési időpontok és átfutási idők ismeretében meghatározható a kapacitás szük-
séglet, amely ha túllépi a rendelkezésre álló mennyiséget, átütemezést (korábbi
kezdést) involvál.

b) Legkorábbi kezdési időpont szerinti ütemezés

A legkorábbi kezdési időpont szerint akkor indítható a sorozat, ha minden – a gyár-
tási feladat elvégzéséhez szükséges - anyag és gyártóeszköz rendelkezésre áll, va-
lamint befejeződött a megelőző művelet.

Ez a típusú programozás nagyobb gyártásközi készletek keletkezését valószínűsíti,
de nem veszélyezteti oly mértékben a határidő biztonságot, mint a legkésőbbi kez-
dési időpont szerinti ütemezés.

A gyártási határidők minden olyan ütemezés esetén tarthatók, amelyekben a kezdési időpontok a legkorábbi és a legkésőbbi kezdési időpontok közé kerülnek. Ha ily módon sikerül a kapacitásokkal összhangban álló terhelést biztosítani, elkerülhető a gyártási határidők és a késztermék-kibocsátási terv módosítása, tehát nem kell visszacsatolni a termelésstervezési hierarchiában a kapacitásterhelés méretezéséhez.

A finomprogramozás algoritmusát a legkésőbbi időpontokhoz igazodó kapacitásterhelési elven javaslom felépíteni. Ez az eljárás első lépésben valamennyi feladatot a legkésőbbi kezdési időpontnak megfelelően ütemez. Ha az így gyűjtött kapacitásigények, valamelyik munkahelyen valamely időszakban elérik a kapacitáskorlátot, a rendszer a gyártási feladathoz tartozó valamennyi művelet kezdési időpontját „lépésenként” korábbra ütemezi. Egy-egy ilyen lépés azt jelenti, hogy valamennyi művelet tervezett kezdési időpontja egy programozási időegységgel korábbra kerül.

Ezek a lépések addig ismételhetők, amíg a kezdési időpontok elérik a legkorábbi kezdési időpontokat. A rendszer minden lépés után megvizsgálja, hogy van-e olyan munkahely, ahol az összesített kapacitásigény nagyobb a kapacitáskorlátnál.

Ha nincs, az eljárás a következő gyártási feladattal folytatható és a tervezett kezdési időpontokat a rendszer az aktuális értéken rögzíti.

Ha már elérte a legkorábbi kezdési időpontot, és még mindig van túlterhelt munkahely, akkor csökkenteni kell a gyártási feladatot.

Ha a gyártásprogramozás során a rendszer gyakran ütközik kapacitáskorlátba, akkor megvizsgálandó a szűk termelési keresztmetszet kapacitásbővítő beruházásának lehetősége és gazdaságossága.

Összefoglalás

Kutatásaimat a minőségi elven túl az energia megtakarítási és környezetvédelmi szempontok is motiválták. Napjainkban a termék -és technológiafejlesztéseknek figyelembe kell venniük a környezeti szempontokat is, pl. a ráfordított energia hányad csökkentését. 2007-től a BAT technológia-alkalmazás kötelező vezérelve lesz a fejlesztéseknek.

Kutatásaim első fő területe a technológia-optimalizálás.

Az általam továbbfejlesztett modell és az arra épülő számítógépi program alkalmas az acél széles szalagok alapvető hideghengerlési technológiai paramétereinek optimalizálására.

A szimulációs számítógépi modell lehetővé teszi azt, hogy segítségével az előírt peremfeltételeknek (megengedett maximális hengerlési erő, teljesítmény és nyomaték, hengerlési sebesség-tartomány, a megcsúszási veszélyt elkerülő maximális magasságcsökkenés, szalaghúzó- és fékezőerő korlátai, résszabályozás korlátai, stb.) eleget tevő, a reverzáló hengerlési üzemmód sajátosságait figyelembe vevő (minden következő szúrás az előzőekben „beállt” hődomborodású hengerekkel történik, és a szalag szúrásról-szúrássra haladva felváltva melegszik és hűl), valamint a síkkifekvés feltételeit is betartó hideghengerlési technológiákat alakítsunk ki, amelyekre igazak az alábbi tézisek:

- 1. Hengerrés-szabályozó automatikával fel nem szerelt hengersorokon olyan szúrás-terv-tervező programot alakítottam ki, amelyben a szúrásonkénti magasságcsökkenések nem változnak az üzemihez képest, de a hengerlési sebesség, a feszítőerők és a köszörült alapdomborítás összetartozó optimális paraméterei szerinti hengerléssel méretpontos és síkfekvő (belső feszültségtől mentes és alakhú) szalag állítható elő.*
- 2. Alakszabályozóval és résszabályozóval felszerelt hengersorokon az eljárás a munkapont olyan megválasztását segíti elő, amely minimális szabályozási beavatkozás mellett maximális kapacitás kihasználást tesz lehetővé.*

3. *A kiszámított hengerlés technológiai adatok összhangja megalapoz egy nagyfokú objektivitást, amellyel megválaszthatók egy adott termékválaszték esetében alkalmazandó hengersor jellemző gépészeti paraméterei (sebességtartomány, feszítőerő tartomány, maximális hengerlési erő és nyomaték, szükséges motorteljesítmény, hengerrés-szabályozó berendezés működési tartománya stb.). Pl.: nagy megrendelt mennyiségű ún. vezér-méreték esetében nagyobb óraterjesítményre képes paraméterekkel rendelkező gépi berendezést kell választani.*

Tehát a technológiai paraméter-optimalizálás megalapozója a beruházások gazdaságosságának.

4. *Meghatároztam a munkahengerek olyan minimális (áthúzási feltétel által megszabott biztonsági tényezővel megnövelt) felületi érdességét, amelyekkel hengerelve súrlódási munka „takarítható meg”. Ez az energia a szűrásonkénti alakváltozás és/vagy sebesség növelésére fordítható. Ehhez a hengerérdességhez tartozó hengerléstechnológiai paramétereket alkalmazva a hőáramsűrűségek minden szűrés minden időpontjában stacionáriusak lesznek, és kiválasztható az a köszörült alaplomborítás, amely a szélesség menti egyenletes alakváltozás feltételét minden szűrásban kielégíti.*

A technológia optimalizáláson belül külön foglalkoztam a többfázisú hengerléssel, amely kutatás során a köztes lágyítás helyének megválasztását vizsgáltam. Ennek eredményeként az alábbi tézist fogalmaztam meg.

5. *Ha az anyag összes alakváltozása csak köztes hőkezeléssel valósítható meg, akkor ezen hőkezelések helye optimalizálható abból a szempontból, hogy a hengerléshez felhasznált alakváltozási munka/energia igény minimális legyen.*

Kutatásaim másik fő területe a termelésirányításból származtatható optimalizálás, amelyre az alábbi téziseket definiáltam és igazoltam.

6. *Elemzésekkel igazoltam, hogy hideghengerművek komplex termelésirányítási feladatainak megoldására gazdaságosabb egy egyedi szoftver rendszer kifejlesztése és bevezetése, mint sztenderd rendszerek megvásárlása és adaptálása.*
7. *Egy sajátos matematikai modellt állítottam össze, amely beépíthető a hideghengerművek termelésirányítási számítógépes rendszereibe, és alkalmas gyártásprogramozási időszakonként érvényes, olyan optimális termékösszetétel meghatározására, amely az időszak rendelésállományán alapul, megfelel a piaci és kapacitás korlátozó feltételeknek oly módon, hogy maximális nyereséget vagy maximális kapacitáskihasználást biztosít, a stratégiai céltól függően. Ez a modell algoritmizálható és alkalmazásának eredményei bemenő paraméterei a legkésőbbi kezdési idők szerinti finomprogramozásnak, amellyel minimalizálható a gyártásközi készletek szintje és maximalizálható a határidő biztonság.*

Az elvégzett kutatás eredményei nagyobb volumenű ráfordítás nélkül lehetővé teszik hengerelt széles acélszalagokat gyártó művek fajlagos gyártási költségeinek csökkentését, különös tekintettel az energia költségekre és a technológiai átfutási idő rövidüléséből származó megtakarításokra.

A hengerlési paraméterek optimális megválasztásával és alkalmazásával lehetővé válik nagyobb óraterheltség elérése, illetve jobb minőségű (síkfekvő, méretpontos) termék előállítása, amely nagyobb árbevételt/nyereséget eredményezhet.

Ez az eljárás különösen a gyengébb felszereltségű üzemek versenyhelyzetét javíthatja.

A többfázisú hengerlés köztes lágyítási helyének optimalizálása és gyakorlati alkalmazása az alakváltozási munka/energia megtakarítását eredményezi, amely költségcsökkentéssel jár.

Az általam javasolt szerkezetű és funkciójú komplex termelésirányítási rendszer bevezetése a DWA Hideghengermű Kft.-nél folyamatban van, amelynek tervező és követő moduljai már üzemszerűen működnek. Ezen modulok megvásárlása iránt érdeklődés tapasztalható az osztrák tulajdonos VOEST ALPINE AG. részéről.

Az optimalizáló modell alkalmazása a DWA Kft. szoftverfejlesztési terveiben szerepel.

A termékösszetétel optimalizálásával a piaci céloknak megfelelően megválasztott célfüggvény elégíthető ki, amely – teljesülése esetén – javíthatja a vállalat pozícióit.

A kidolgozott technológia-optimalizációs modellek a Képlékenyalakítás elmélete és a Hengerlés II. c. tantárgyak tananyagának részeként segíthetik az egyetemi képzést, míg a termelésirányítási fejezet a rendszerszemlélet, valamint költségérzékenység képességét fejlesztő, gyakorlati alkalmazásra példát adó ismeretanyagként kerülhet a Vállalatgazdaságtan c. tantárgy tematikájába.

Kutatásom tudományos eredményei a két diszciplína összekapcsolásának példaként (esettanulmányok szintjén) épülhetnek be az Innovációs menedzsment, a Termelés menedzsment és az Információs menedzsment c. tárgyak tananyagaiba.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Voith Márton – Dernei László: Új utak a hidegszalaghengerlésben. Dunai Vasmű Műszaki-Gazdasági Közleményei, XXV. évf. (1985) 45-55. old.
- [2] Ivanov Péter és szerzőtársai: Finomlemezek síkfekvéséről. BKL Kohászat, 113 (1980) 412-424. old.
- [3] Dudás Illés - Tisza Miklós - Voith Márton: Development Tendencies of Manufacturing Processes. Publications of the University of Miskolc, Miskolc, Series C. Mechanical Engineering, Vol. 45. 1995., 207-220. old.
- [4] Hinkfoth, R. – König, B. – Vogt, E. – Becker, H.: Berechnung der Walzspaltform über die Bandbreite beim Kaltwalzen von Bändern auf Quartogerüsten. Neue Hütte, 17 (1972) 412-418. old.
- [5] Zanicotti, L. – Gagliardi, G. R. – Rovelli, C.: A hengerrésszabályozás lehetőségei, a különböző megoldások összehasonlítása és ezek hatása a síkkifekvés javítására. BKL Kohászat, 119 (1986) 59-65. old.
- [6] Gulyás József: Üzemi mérések. Tankönyvkiadó, Budapest, 1974.
- [7] Pawelski, O.: Zeitverhalten thermischer Walzspaltänderungen beim Kaltwalzen von Band. Archiv für das Eisenhüttenwesen, 43 (1972) 405-411. old.
- [8] Voith Márton: A képlékenyalakítás elmélete. Nagy alakváltozások tana. Egyetemi tanönyv. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 1998. 297 old.
- [9] Voith Márton - Dernei László - Zupkó István - Gönczy Sándor - Voith Katalin: Képlékenyalakító technológiák számítógéppel segített tervezése, szakértői programok kidolgozása. MKM77/92. számú kutatási zárójelentés. Miskolc, 1995., 16 old.
- [10] Voith Márton - Dernei László - Zupkó István - Kokas Tibor - Horváth Ákos: Hideghengerlési technológiák számítógéppel (CAD) segített tervezése. BKL, Kohászat, 120 (1987) 347 - 350. old.
- [11] Bakos István - Dernei László - Voith Márton: Hidegen hengerelt szélesszalag hengerlési technológiájának interaktív tervezése. GÉPGYÁRTÁS, 2001. dec. 29-36. old.
- [12] Voith Márton - Voith Katalin: Trends of Development in Cold Rolling. XIII. Szerszámgép Konferencia, Miskolc, 1998. okt. 26-27. 169-172. old.
- [13] Voith Márton - Dernei László - Zupkó István - Voith Katalin: Optimisation of Cold Strip Rolling. Acta Technica Acad. Sci. Hung., 105 (1993) 3. kötet, 211-224. old.
- [14] Voith Márton - Dernei László - Voith Katalin: Taking the Heat Effects Into More Accurate Consideration at Rolling of Thin Strip (Foil). Publications of the University of Miskolc, Miskolc, Series B. Metallurgy, Vol. 38. 1995., 55-62. old.
- [15] Voith Márton - Dernei László: A félégyártmánygyártás technológiájának számítógéppel segített interaktív tervezése. MKM 470/94. számú kutatási zárójelentés. Miskolci Egyetem, Miskolc, 1996. 24 old.

- [16] Voith Katalin - Voith Márton - Dernei László: A szerszámérdesség hatása a képlékeny alakváltozásra és az alakíthatóságra finomszalag (fólia) hengerlésekor. OTKA T4415/92. számú kutatási zárójelentés. Miskolc, 1995., 76 old.
- [17] Voith Márton - Dernei László - Voith Katalin: Effect of the Roughness of Work Rolls in Cold Rolling. IX. Nemzetközi Szerszámkonferencia, Miskolci Egyetem, Miskolc, 1996. szeptember 3-5. 107-112. old.
- [18] Bakos István – Ágoston Zsolt – Varga Zoltán: Veszteségidő tanulmányozás a DWA Hideghengermű Kft. Hengersor üzemében. DUNAFERR Műszaki Gazdasági Közlemények 1998/1.
- [19] Bakos István: Moduláris felépítésű termelésirányítás alkalmazása hideghengerműi gyártórendszerekben. Kohászat 1998/3-4.
- [20] Susánszky János- Kocziszky György – Szakály Dezső: Szervezőmódszertan. Tankönyvkiadó, Budapest, 1985.
- [21] Kocsis József: Folyamatszervezés a gépiparban. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
- [22] Hajtó Aurél: Rugalmas termelésirányítás a gépiparban. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1979.
- [23] Kocsis József: Gyártási rendszerek szervezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
- [24] Kocsis József – Fáy Barnabás: Termelésirányítás visszacsatolással. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
- [25] Szintay István: Rendszerelmélet, rendszerszervezés. Tankönyvkiadó, Budapest, 1985.
- [26] Erdélyi Ferenc – Tóth Tibor: Gyártórendszerek irányításának hierarchiája. Oktatási segédlet, Miskolci Egyetem, 1995.
- [27] Hajduk M. és társai: Hutnické listy. 1972. 8. szám. 567-571. old.
- [28] Heurel, A - Rittel, T: Rationeller Energieeinsatz bei Uniformprozessen. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1981.
- [29] H. Polzer: Termelés tervezés, termelés irányítás standard szoftverek alkalmazásával. Miskolc, 1995.
- [30] Hajtó A. - Terplán K. A dinamikus termelésirányítás modulrendszere. Budapest, KJK 1974.
- [31] PANORAMA DER EU - INDUSTRIE '97. Brüsszel, EGKS-EG-EAG 1997.
- [32] Susánszky János – Czabán János: Ipar- és vállalatgazdaságtan I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.
- [33] Susánszky János – Heidrich László – Baross Szabolcs: Gépipari üzemgazdaságtan II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.
- [34] Gulyás József: Hengerlés I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
- [35] Bakos István – Dernei László – Voith Márton: Gép + technológia + szoftver = optimalizálás. Hidegen hengerelt szélesszalag hengerlési technológiájának interaktív tervezése. Északkelet-Magyarország Gazdaság-Kultúra-Tudomány, 2001/9-10.
- [36] Bakos István: Egy reorganizációs módszer alkalmazása a hideghengerművek termelésirányításában. Északkelet-Magyarország Gazdaság-Kultúra-Tudomány, 1998/9.

- [37] Bakos István: Hideghengerlési technológia veszteségforrásai. Előadás és kiadvány, microCad '99 Konferencia, Miskolc, 1999.
- [38] Bakos István: Hazai vállalkozások feladatai az Európai Unió csatlakozásunkhoz való felkészülésben. Előadás, Vállalkozói fórum, aktuális témák beszállítóknak. Székesfehérvár, 1998.
- [39] Bakos István: A veszteségidő csökkentésének lehetőségei racionalizálással és műszaki fejlesztéssel. „Elméleti és gyakorlati kihívások az ezredforduló gazdaságában” c. konferencia előadása, Miskolci Egyetem, Gazdaságtudományi Kar jubileumi konferenciája, Lillafüred, 1997.
- [40] Bakos István: A DWA Hideghengermű 1200-as hengerállványának veszteségidő tanulmányozása. Szakértői jelentés, Dunaújváros, 1998.
- [41] Bakos István: A DWA Hideghengermű Kft. munkahenger csapágytőke közepes- és nagyjavítási műveletidőinek normázása. Szakértői jelentés, Dunaújváros, 1999. (Társ-szerző: Ágoston Zsolt).
- [42] Bakos István: A DWA Hideghengermű Kft. működésének komplex átvilágítása, javaslat a termelésirányítási rendszer korszerűsítésére. Szakértői jelentés, Dunaújváros, 1996. (Társ-szerzők: Baksa Sára, Mélypataki Lászlóné).
- [43] Bakos István: A DUNAFERR vállalatcsoport munkaerő struktúrájának racionalizálása. Szakértői jelentések, Dunaújváros, 1990-95. (Társ-szerzők: Dr. Susánszky János, Dr. Kocziszky György, Román Józsefné, Baksa Sára, Mélypataki Lászlóné).
- [44] Bakos István: A DWA Hideghengermű Kft. termelésirányítási rendszerének fejlesztése. Rendszerterv, fejlesztési dokumentációk Dunaújváros, 1997-2001. (Társ-szerzők: Rada József, Boromisza Dénes, Wolf Ferencné).
- [45] Bakos István: Evaluation and EU regional policy: new questions and new challenges. Regional Studies Association International Conference, Université d' Aix-Marseille III, Aix en Provence, France, 2002. máj. 31. – jún.1.
Előadás és kiadvány: Application of a Method for Measuring and Developing the Innovation Potential in Hungary. (Társ-szerző: Dr. Kocziszky György).

JELÖLÉS JEGYZÉK

(az alkalmazás sorrendjében)

h_0	-	a belépő szalag magassága
h_n	-	a hengerelt szalag n. szúrás utáni magassága
$F_{\max}$	-	gépészeti szempontból megengedett maximális hengerlési erő
$P_{\max}$	-	maximális hengerlési teljesítmény
$v_{\max}$	-	maximális hengerlési sebesség
$v_{\min}$	-	minimális hengerlési sebesség
$\Delta h_{\max}$	-	a tervezhető legnagyobb (a megcsúszási feltételekhez tartozó) magasságcsökkenés
$\Delta h_{\min}$	-	a szükséges legkisebb (a síkfekvési feltételekhez tartozó) magasságcsökkenés
$Z_{0\max}$	-	a hengerelt darabra ható maximális külső fékezőerő
$Z_{0\min}$	-	a hengerelt darabra ható minimális külső fékezőerő
$Z_{1\max}$	-	a hengerelt darabra ható maximális külső húzóerő
$Z_{1\min}$	-	a hengerelt darabra ható minimális külső húzóerő
$F_{hj\max}$	-	a hengeralkotó kiegyenesítéséhez szükséges maximális hengerlési erő
$T_{\max}$	-	hengerléskor megengedett maximális hőmérséklet
s_0	-	terheletlen hengerrés nagysága
$\delta h_{be}, \delta h_0$	-	a belépő szalag lencsésége
δh_{ki}	-	a kilépő szalag lencsésége
y_{rug}	-	a hengerek alkotójának rugalmas alakváltozása
$2y_0$	-	a hengerekre köszörült alapdomborítás átmérőre vonatkoztatva
$y_{hő}$	-	hődomborodás
ε	-	relatív magasságcsökkenés
λ	-	megnyúlás
D_{th}	-	támhenger átmérője
D_{mh}	-	munkahenger átmérője
h_{be}	-	a belépő szalag vastagsága
h_{ki}	-	a kilépő szalag vastagsága
$F_{hő}$	-	a hődomborodás „visszanyomásához” szükséges erő
F_{y0}	-	a köszörült alapdomborítás „kiegyenlítéséhez” szükséges erő
F_{opt}	-	a síkfekvés feltételéhez tartozó (szükséges) hengerlési erő

$M_{\max}$	-	a kifejthető legnagyobb hengerlési nyomaték
K	-	köszörűkő finomsága
$h_{\text{kész}}$	-	a hengerelt szalag befejező szűrés utáni magassága (készméret)
$\varphi_{\text{ö}}$	-	összes alakváltozás
φ_{meg}	-	megengedett alakváltozás
$\varphi_{\text{lágy}}$	-	a közbenső lágyítás helyéig bekövetkezett alakváltozás
k_f	-	alakítási szilárdság
k_k	-	alakítási ellenállás
φ_A	-	a lágyítási intervallum alsó határát jelentő alakváltozási mérték
φ_B	-	a lágyítási intervallum felső határát jelentő alakváltozási mérték
W	-	a befektetett összes alakítási munka
w	-	befektetett fajlagos alakítási munka
V_0	-	az alakított test kiinduló térfogata
$\varphi_{x1}, \varphi_{x2}$	-	az integrációs határokat kijelölő alakváltozási mértékek
$\varphi_{\text{üz}}$	-	a gyakorlatban alkalmazott lágyítás helyét kijelölő alakváltozási mérték
η	-	a tényleges és az ideális befektetett fajlagos alakítási munkák hatásfok tényezője
$\dot{\varphi}$	-	alakváltozási sebesség
w_1	-	az 1. fázisban befektetett összes fajlagos alakítási munka
w_2	-	a 2. fázisban befektetett összes fajlagos alakítási munka
$w_{\text{össz}}$	-	a két fázisban együttesen befektetett összes fajlagos alakítási munka
I	-	homogén termelési keresztmetszet időalapja
n_n	-	időszak munkanapjainak száma
m	-	a munkanap műszakjainak száma
I_m	-	a műszak időtartama
g_n	-	a homogén keresztmetszet gépeinek száma
$t_{\delta\%}$	-	az időszak átlagos üzemszüneti (kieső) idejének aránya az időalapon belül
N_c	-	kapacitás norma
$t_{e,b}$	-	előkészületi és befejezés idő
t_d	-	darabidő
s	-	sorozatnagyság
$P\%$	-	a homogén termelési keresztmetszet teljesítmény százaléka
$\dot{A}$	-	adott időszak összes árbevétele

K_{pr}	-	adott időszak összes redukált proporcionális költsége
F	-	adott időszak összes fedezete
K_{pr}	-	adott időszak összes redukált fix költsége
N	-	adott időszak összes nyeresége
$\acute{a}$	-	termékek nettó eladási egységára
k_{pr}	-	termékek fajlagos redukált proporcionális költsége
f	-	termékek fajlagos fedezete
Q	-	adott termék, adott időszakban legyártott összes mennyisége
n	-	termékfélések száma
$E_{kcs\acute{o}kk}$	-	összes készletérték csökkenés adott időszakban
T_{gy}	-	átlagos gyártási átfutási idő
$H_{b\acute{i}zt}$	-	határidő biztonsági mutató
H_{megr}	-	megrendelés szerinti határidő
$H_{t\acute{e}ny}$	-	a gyártás szerinti tényleges határidő
K_h	-	kapacitás kihasználtsági faktor
A	-	tényleges átbocsátó képesség
C	-	kapacitás
I_A	-	tényleges átbocsátó képesség időalapja
N_A	-	tényleges átbocsátó képességnorma
I_c	-	a kapacitás időalapja

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat:	Egy magyarországi és egy nyugat-európai hideghengermű költségstruktúrájának összehasonlítása fő költségnemek szerint alapanyag és fel nem osztott költségek nélkül
2. táblázat:	A korszerű termelésirányítás jellemzői
3. táblázat:	Alapadatok
3/a. táblázat:	Számított szúrásonkénti adatok
4. táblázat:	Technológia-optimalizálási változatok főbb paraméterei
4/a. táblázat:	Számított hengerléstechnológiai paraméterek
5. táblázat:	A kísérletbe bevont kétfázisú hengerlési tételek adatai
6. táblázat:	A három kísérleti anyagminőség Hajduk-féle paraméterei
7. táblázat:	Az 1. kísérlet számított adatai
8. táblázat:	A 2. kísérlet számított adatai
9. táblázat:	A 3. kísérlet számított adatai
10. táblázat:	Sztenderd és egyedi szoftverek bevezetési költségeinek összehasonlítása egy magyarországi hideghengermű esetében (2001.)
11. táblázat:	Alapanyag norma adatok
12. táblázat:	Gyártási időnorma adatok
13. táblázat:	Időalapok
14. táblázat:	Kapacitás norma törzs
15. táblázat:	Termék nyereség fedezeti normák
16. táblázat:	Technológiai adatbázis szerkezete
17. táblázat:	A rendszerfejlesztés készletszint csökkentő hatásai
18. táblázat:	Az extenzív tényezők meghatározása
19. táblázat:	Az intenzív tényezők meghatározása
20. táblázat:	A kétváltozós optimalizációs modell elemei

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Az átfutási idő szerkezete és a redukálás lehetőségei
2. ábra: A beállítandó hengerrés nagysága
3. ábra: A hengerrés szükséges alakja
4. ábra: A domborítás „kiegyenesítéséhez” szükséges F_{hj} hajlítóerő
5. ábra: A szükséges hengerlési erő különböző hengerlési sebességek esetén
6. ábra: A hideghengerlés újszerű karakterisztika diagramja
7. ábra: Regisztrált hengerléstechnológiai paraméterek
8. ábra: Mért hőmérsékletek a munkahenger felületén
9. ábra: A számítógépi optimalizációs modell működésének alapelve
10. ábra: Az egyes optimalizációs változatokhoz tartozó hengerléstechnológiai paraméterek szúrásonkénti változása
11. ábra: Az egyes optimalizációs változatokhoz tartozó összesített hengerléstechnológiai paraméterek
12. ábra: A hengerérdesség hatása
13. ábra: A kétfázisú hengerlés köztes lágyítási helyének optimalizációs modellje
14. ábra: Az η mutató alkalmazása a lágyítás helyének meghatározásában
15. ábra: 1. kísérlet w_1 - φ diagramja
16. ábra: 1. kísérlet w_2 - φ diagramja
17. ábra: 1. kísérlet $w_{össz}$ - h_{ki} diagramja
18. ábra: 2. kísérlet w_1 - φ diagramja
19. ábra: 2. kísérlet w_2 - φ diagramja
20. ábra: 2. kísérlet $w_{össz}$ - h_{ki} diagramja
21. ábra: 3. kísérlet w_1 - φ diagramja
22. ábra: 3. kísérlet w_2 - φ diagramja
23. ábra: 3. kísérlet $w_{össz}$ - h_{ki} diagramja
24. ábra: Termelés programozási rendszer felépítése
- 24/1. ábra: Adatbázis
- 24/2. ábra: Durva programozás
- 24/3. ábra: Finomprogramozás
- 24/4. ábra: Napi programozás
25. ábra: A korlátozó feltételek fiktív poligonja
26. ábra: A célfüggvények szintvonalai és gradiensei
27. ábra: A korlátok és célok által meghatározott optimum pontok a konvex tartományban

M E L L É K L E T E K

1. melléklet

**A kétfázisú hengerlés közbenső lágyítási helyének meghatározása
kísérletekkel, három anyagminőség esetében**

2. melléklet

A termelésirányítási rendszer javasolt menü szerkezete

(minta: TERVEZÉS)

Bakos István

**Az acél szélesszalag hideghengerlés fejlesztése
alapvető technológiai paraméterek optimalizálásával
és termelésirányítási rendszerfejlesztéssel**

**Doktori értekezés
Összefoglaló**

Témavezető: ***Dr. Voith Márton DSc***

Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák
Doktori Iskola

A doktori iskola vezetője: ***Dr. Károly Gyula DSc***

**MISKOLC
2002**

Disszertációmban egy stratégiai jelentőségű kohászati eljárás technológia-tervezési, valamint termelésszervezési fejlesztésének lehetőségeit vizsgáltam és olyan módszereket dolgoztam ki, amelyek alkalmasak a versenyképesség növelésére, különösen technikailag gyengébben felszerelt, sokféle kissorozatot gyártó hideghengerművek esetében.

A hideghengerlés, mint képlékenyalakítási technológia széles körben alkalmazott, nagy arányt képviselő megmunkálási eljárás a nehéz és könnyűipar alapanyag-igényének ki-elégítésében, ugyanakkor igen költségigényes. A költségek csökkentésére számos megoldás kínálkozik mind a technológiafejlesztés, mind a termelésszervezés területén. Ezek közül dolgoztam ki néhány jelentősebbet értekezésemben.

Kutatásaim első fő területe a technológia-optimalizálás.

Az általam továbbfejlesztett szimulációs modell és az arra épülő számítógépi program alkalmas az acél szélesszalagok alapvető hideghengerlés-technológiai paramétereinek optimalizálására. A számítógépi modell lehetővé teszi azt, hogy segítségével az előírt peremfeltételeknek eleget tevő, a reverzáló hengerlési üzemmód sajátosságait figyelembe vevő, valamint a síkkifekvés feltételeit is betartó hideghengerlési technológiákat alakítsunk ki, amelyekre igazak az alábbi tézisek:

- 1. Hengerrés-szabályozó automatikával fel nem szerelt hengersorokon olyan szűrásterv-tervező programot alakítottam ki, amelyben a szűrásonkénti magasságcsökkenések nem változnak az üzemihez képest, de a hengerlési sebesség, a feszítőerők és a köszörült alapdobborítás összetartozó optimális paraméterei szerinti hengerléssel méret-pontos és síkfekvő (belső feszültségtől mentes és alakhű) szalag állítható elő [1].
Alakszabályozóval és résszabályozóval felszerelt hengersorokon az eljárás a munkapont olyan megválasztását segíti elő, amely minimális szabályozási beavatkozás mellett maximális kapacitás kihasználást tesz lehetővé [4].*
- 2. A kiszámított hengerlés technológiai adatok összhangja megalapoz egy nagyfokú objektivitást, amellyel megválaszthatók egy adott termékválaszték esetében alkalmazandó hengersor jellemző gépészeti paraméterei (sebességtartomány, feszítőerő tartomány, maximális hengerlési erő és nyomaték, szükséges motorteljesítmény, hengerrés-szabályozó berendezés működési tartománya stb.). Pl.: nagy megrendelt mennyiségű ún. vezér-méreték esetében nagyobb óraterjesítményre képes paraméterekkel rendelkező gépi berendezést kell választani.*

Tehát a technológiai paraméter-optimalizálás megalapozója a beruházások gazdaságosságának [1,2,3,4].

A technológia-optimalizáláson belül külön foglalkoztam a többfázisú hengerléssel, amely kutatás során a köztes lágyítás helyének megválasztását vizsgáltam. Ennek eredményeként az alábbi tézist fogalmaztam meg, amelyet a megalkotott modell kísérleti alkalmazásával igazoltam.

- 3. Ha az anyag összes alakváltozása csak köztes hőkezeléssel valósítható meg, akkor ezen hőkezelések helye optimalizálható abból a szempontból, hogy a hengerléshez felhasznált alakváltozási munka/energia igény minimális legyen (2.2 fejezet).*

Kutatásaim másik fő területe a hideghengerműi termelésirányítási rendszerek optimalizációja.

Ezen a területen két irányban végeztem vizsgálatokat.

Az egyik irányt egy olyan egyedi rendszer megtervezése jelentette, amely figyelembe veszi a lapostermékeket gyártó hideghengerműi karakterisztika sajátosságait az előállítás és installálás költségminimalizálására irányulva, míg a másik vizsgálati irány az egyedi rendszer működésének optimalizálási lehetőségeit célozta meg.

Ezen kutatásaim eredményeként az alábbi tézist definiáltam és igazoltam.

- 4. Hideghengerműi gyártórendszerek komplex termelésirányítási feladatainak megoldására egy sajátos matematikai modellt állítottam össze, amely beépíthető a hideghengerművek termelésirányítási számítógépes rendszereibe, és alkalmas gyártásprogramozási időszakonként érvényes, olyan optimális termékösszetétel meghatározására, amely az időszak rendelésállományán alapul, megfelel a piaci és a kapacitáskorlátozó feltételeknek oly módon, hogy (a stratégiai céltól függően) maximális nyereséget vagy maximális kapacitáskihasználást biztosít. Ez a modell on-line működési állapot elérését célozza meg, algoritmizálható és alkalmazásának eredményei bemenő paraméterei a legkésőbbi kezdési idők szerinti finomprogramozásnak, amellyel minimalizálható a gyártásközi készletek szintje és maximalizálható a határidő biztonság [2,3,5-14].*

István Bakos

**Development of Cold Rolling of Steel Wide Strips by the
Optimisation of the Fundamental Technological Parameters
and the Development of the Production Management System**

Doctoral Dissertation
Summary

Supervisor of research: *Dr. Márton Voith DSc*

Kerpely Antal Materials Science and Technologies
Doctoral School

Head of the Doctoral School: *Dr. Gyula Károly DSc*

MISKOLC
2002

The dissertation studies the development potentials of the technology and planning as well as the production organisation of a metallurgical process of strategic significance and develops methods suitable for increasing competitiveness, particularly for cold rolling mills with technically poorer facilities and producing a great variety of small series. Cold rolling as a plastic deformation technology is a processing technology extensively used for meeting the raw material demands of the heavy and light industry, however, it is highly cost-intensive. There are several solutions for decreasing the costs in the fields of both technology development and production organisation. The dissertation elaborates some of the major ones.

The first main focus of the research work is technology optimisation.

The simulation model improved by the author and the computer program based on it are suitable for optimising the fundamental cold rolling technological parameters of steel wide strips. The computer model makes it possible to develop cold rolling technologies satisfying the prescribed boundary conditions, suiting the properties of the reversible rolling operation and also satisfying the flatness conditions, for which the following hold true:

1. *For mill trains without roll throat control automation, a program of rolling schedule planning has been developed, in which the decreases in height per pass do not change as compared to technological ones, but it is possible to produce flat strips accurate to dimension (free of internal stresses and true to shape) by rolling according to the relevant optimum parameters of rolling speed, stretching forces, and ground basic convexity [1].*

On mill trains with shape control and roll throat control, the procedure facilitates a choice of the working point, which enables the use of maximum capacity with a minimum of control intervention [4].

2. *The harmony of the computed rolling technology data provides the foundation for a high level of objectivity, which makes it possible to choose the engineering parameters of the rolling train for a particular range of products (speed range, stretching force range, maximum rolling force and moment, required engine output, operating range of roll throat control unit, etc.). E.g.: for master dimensions ordered in a large quantity a facility with higher hourly capacity is to be chosen.*

Thus the optimisation of the technology parameters is the foundation of the economic efficiency of the investments [1,2,3,4].

Within technology optimisation, multi-phase rolling was treated specifically, which research focused on determining the position of intermediary annealing. As a result, the following thesis was set and was verified by the experimental application of the model developed.

- 3. If the total deformation of the material can be achieved only by intermediary annealing, the place of the annealing can be optimised so that the deformation work/energy requirement of the rolling should be minimum (Chapter 2.2).*

The other main field of the research is the optimisation of production operation systems in cold rolling mills.

Here the research focused on two directions.

One direction is represented by planning a unit system that takes into consideration the particular character of cold rolling mills producing flat products with the aim of minimising production and installation costs. The other direction is aimed at the optimisation possibilities of the operation of the unit system.

As a result of the research the following thesis was defined and verified.

- 4. A specific mathematical model was developed for solving the complex production management tasks in cold rolling mill production systems, which can be installed in the computer systems of the production management in cold rolling mills and is suitable for determining an optimum product range valid for a production programming period, which is based on the orders of the period, meets the market and capacity restraining requirements so that it ensures maximum profits or maximum capacity utilisation (depending on the strategic objective). The model aims at achieving an on-line operation, is algorithmic and the results of its operation are the input parameters for the fine programming according to the latest initial times, which minimises the inter-production stock levels and maximises the safety of deadlines [2,3,5-14].*