

Budapesti Műszaki Egyetem Doktori Tézisfüzetei

Gépészmérnöki Kar Doktori Tanácsa

Írta:

Viharos Zsolt János

***Intelligens módszerek gyártási folyamatok modellezésében és
optimalizálásában***

című témakörből,
amellyel a Ph.D fokozat elnyerésére pályázik

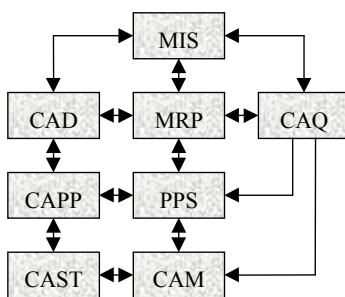
1. Bevezetés

Napjainkban az informatika előretörése, terjeszkedése szinte beláthatatlan. Betör az élet, az ipar szinte minden területére, nagymértékben hozzájárul a minőségi, technikai, gazdasági fejlődéshez, alkalmazásával eddig megoldhatatlannak tűnő feladatok válnak kezelhetővé.

Így van ez a gyártástechnológia területén is. Meghatározó mérföldkőként jelölhető meg az első számjegyvezérlésű (NC - numerical control) marógép kifejlesztése, 1952-ben, amely a lyukszalagon tárolt program cseréjével könnyen átállítható volt lényegében tetszőleges munkadarabok gyártására [48]. Később, az NC gépekben már egyre nagyobb teljesítményű számítógépek működtek, azaz létrejöttek a számítógépes számjegyvezérlésű (Computer Numerical Control - CNC) gépek. A megmunkáló szerszámok CNC gépeken történő tárolásával és az automatikus cseréjével kialakultak a megmunkálóközpontok (Machining Centers - MCs), majd a munkadarabok automatikus tárolásával és cseréjével a rugalmas gyártócellák (Flexible Manufacturing Cells - FMCs). A rugalmas gyártócellákat irányítási hálózattal összekötve, a szállítás és a raktározás automatizálásával épültek ki a rugalmas gyártórendszerek (Flexible Manufacturing Systems - FMSs) és ezt továbbfejlesztve létrejött a számítógéppel irányított gyártás (Computer Integrated Manufacturing - CIM). Így alakult ki a magafokú gyártási automatizáltság, mely rugalmasságának köszönhetően egyre gazdaságosabbá vált.

A vállalati információs rendszer (Management Information System - MIS) a vállalatvezetést látja el információval és segíti döntéseiben (1. Ábra.).

A CAD (Computer Aided Design - CAD) a termék- és gyártóeszköztervezést, a CAPP (Computer Aided Process Planning - CAPP) a gyártási folyamatok, a CAST (Computer Aided Storage and Transport - CAST) a szállítás, raktározás tervezését szolgálja. A CAQ (Computer Aided Quality - CAQ) a minőségsszabályozás, a PPS (Production Planning System) a termelés-szervezés és ütemezés, az MRP (Manufacturing Resources Planning, ill. Material Requirement Planning - MRP) a gyártási, termelési erőforrások tervezésének eszköze, a CAM (Computer Aided Manufacturing) pedig a számítógéppel segített gyártás elfogadott kifejezése.



1. Ábra. A termelés integrációs struktúrája [48]

A számítástechnikai támogatottság tette lehetővé azt is, hogy a gyakorlatban a korábbi tapasztalati, kísérleti alapokon nyugvó folyamatszabályozás helyett ma már egyre inkább a természettudományos, rendszertechnikai, irányítástechnikai eredményeket felhasználó szabályozás valósul meg. Az informatikai támogatás gyakorlati hasznát napjainkban is folyamatosan érzékeljük az egyre jobb minőségű és ezzel szemben egyre olcsóbb termékek, szolgáltatások megjelenésén keresztül.

A termelésinformatika sajátossága lehet, hogy intelligens funkciókat valósít meg, azaz biztosítja a korábban felhalmozott tudás befogadásának, és tárolásának, a tanulásnak és a tudás hasznosításának képességét. A szerszámgépek adaptív irányítását tekinthetjük a tanulásnak és a tudás hasznosításának első megjelenési formájaként. A következő lépés volt a vezérlésbe beépített algoritmusok, adatbázisok megjelenése, majd napjainkban jelennek meg a tanulásnak és a tudás alkalmazásának modern módszerei, mint pl. a szakértői rendszerek, mesterséges neurális hálózatok, fuzzy logikán alapuló következtető rendszerek, ill. ezek integrációi. A modern, intelligens módszerek iránti igényt mutatta be már 1983-ban Hatvany József is, aki megfogalmazta, hogy az intelligens gyártórendszereknek bizonyos korlátok között alkalmasnak kell lenniük hiányos és pontatlan információk alapján ismeretlen, előre nem látható problémák megoldására is [47]. A gyártási folyamatok modellezése, szervezése az intelligens gyártórendszerek megvalósításának egyik meghatározó alapkővet jelenti.

A modellezés iránti igény megértéséhez először a szimuláció fogalmát szükséges tisztázni. A szimuláció valamilyen rendszer összetevői várható fejlődésének, alakulásának számbavétele matematikai modell segítségével [50]. A modell bonyolult rendszerek egyszerűsített, minden részletében áttekinthető, gyakorlatilag megvalósított vagy szemléletesen elképzelt, arányosan lekicsinyített vagy felnagyított, matematikailag szabadosan leírható, idealizált mása, amely többé-kevésbé helyesen szemlélteti a vizsgált rendszer vagy folyamat sajátosságait. A modellalkotásnál tudatában kell lenni annak, hogy a modell nem azonos a vizsgált rendszerrel vagy folyamattal, és nem tükrözi maradéktalanul annak összes tulajdonságait. A helyesen megalkotott modell mégis magán viseli az objektív világban meglévő rendszer vagy a lejátszódó folyamat fontos ismérveit, és így alkalmas a döntő törvényszerűségek feltárására és szemléltetésére [82].

Dolgozatomban a mesterséges intelligencia egyik ágának, a mesterséges neurális hálózatoknak, mint folyamatmodelleknek a gyártástechnológiai felhasználásával foglalkozom. A kutatás során kidolgozott módszereket és a megvalósított eszközöket különböző gyártási (forgácsolási) folyamatok modellezésére és optimalizálására alkalmaztam.

2. A kutatás célkitűzései

Napjaink alap- és alkalmazott kutatási irányainak áttekintése alapján megállapítható, hogy a gyártástechnológiában az informatikai támogatottság folyamatosan növekszik, és ezzel párhuzamosan javul az előállított termékek minősége, csökken a költsége.

A mai informatikai fejlődés egyik legnagyobb kihívása az intelligens gyártórendszerek megvalósítása. Bár Hatvany József igen jól definiálta, hogy melyek az elvárások az intelligens gyártórendszerekkel szemben [47], ennek kapcsán mégis célszerűnek tartom megvizsgálni az intelligencia Új Magyar Lexikonban található definícióját [88]:

Intelligencia - Az értelmi működés fokmérője. Elsősorban mint az egyének új körülményekhez való alkalmazkodó képessége mutatkozik meg, amely szorosan összefügg az előzőleg szerzett tapasztalati anyag alkalmazásával, a helyzet mozzanatainak széleskörű figyelembevételével és a gondolkodóképességgel. Megkülönböztetünk elméleti intelligenciát: az elméleti problémákban való tájékozódásnak, azok megoldásának képességét, a megszerzett ismeretanyag értelmes felhasználása alapján, valamint gyakorlati intelligenciát: valamely ismeretanyag gyakorlati hasznosításának, alkalmazásának a közvetlen tevékenységben megnyilvánuló képességét.

Ebből a definícióból két lényeges tulajdonságot emelnék ki:

1. A tudás megszerzésének és tárolásának képességét, a tanulási képességét.
2. A tudás alkalmazásának képességét.

Látható, hogy az *intelligens* gyártórendszereknek képesnek kell lenniük tanulásra, tudásszerzésre és e tudást használatára, hasznosítására is. A számítógéppel integrált gyártás nyújt segítséget, alapot az intelligens gyártórendszerek megvalósítására. Napjainkban ez olyan programok, programrendszerek létrehozását jelenti, melyek képesek ezeket az elvárásokat megvalósítani.

Értekezésemben is a mesterséges neurális háló alapú folyamatmodellezéssel foglalkozom. Kutatómunkám kezdetén a következő feladatokat céloztam meg:

- A mesterséges neurális hálók gyakorlati, gyártástechnológiai alkalmazási módszereinek vizsgálata.
- Az alkalmazás általános lépéseinek megállapítása, értékelése.
- A gyártástervezés és gyártás különböző szintjein jelentkező feladatok vizsgálata, a különbségek, azonosságok megállapítása.
- Feladattól (gyártás(tervezés)i szinttől) független, a pontossági követelményeket kielégítő, általános, neurális háló modell felépítését végző módszer kidolgozása, a tudás felhalmozása és tárolása.
- Az általános neurális háló modell alkalmazási algoritmusának kidolgozása a gyártás különböző szintjein és területein adódó feladatok megoldására.
- Olyan algoritmus kidolgozása, mely az általános neurális háló modellt használja gyártási folyamatok optimalizálására.
- Gyártósorok flexibilis modellezésére alkalmas módszer kifejlesztése.
- Gyártósorok, gyártási folyamatok különböző szintű és célú optimalizálására alkalmas eljárás kidolgozása és megvalósítása.
- Gyártósorok, gyártási folyamatok többcélú optimalizálása esetén a lehetséges kompromisszumok feltárására alkalmas eljárás kifejlesztése és megvalósítása.

3. Nemzetközi áttekintés

Merchant az 1998-ban megrendezett CIRP (The International Institution of Production Engineering Research) International Workshop on Modeling of Machining Operations konferencián megjelent cikkében bemutatta, hogy a gyártási, forgácsolási folyamat megfelelő modellezése óriási gazdasági haszonnal kecsegtet [57]. A gyártási folyamatok szimulációjának szükségességét indokolja a világszerte ismert vállalatok érdeklődése is, hiszen közzismert, hogy egy piacorientált termelő vállalat csak akkor foglalkozik valamely témakörrel, ha a ráfordított erőforrások megtérülnek és a későbbiekben hasznot hoznak. Érdeklődést mutatnak többek közt a következő vállalatok is: General Motors [80], Ford Motor Co. [26] The Boeing Co. [75], Caterpillar Inc.; USA [32], Kennametal Inc. USA [90], Colding International Corporation, USA [35]. A mesterséges neurális háló alapú modellezés már hazai igényként is jelentkezik. Például én is végigvittem egy ipari projektet itt Magyarországon, a székesfehérvári Ford gyárban, ahol az összeszerelt indítómotorok működési modelljét kellett megalkotni [21].

A CIRP Forgácsolási Munkacsoportja a gyártási, forgácsolási folyamatok szimulációja kapcsán a következő főbb célokat tűzte ki [56]:

1. A folyamatok tervezése.
2. A folyamatok optimalizálása.
3. A folyamatok szabályozása.
4. A folyamatok szimulációja.
5. A folyamatok körülményeinek, környezetének tervezése.

A gyártás egyik meghatározó folyamatának, a forgácsolásnak szimulációja, modellezése is igen fontos szerepet kap az intelligens gyártórendszerek megvalósításakor. A forgácsolási folyamatmodellek típusait mutatja a CIRP "Modelling of Machining Operations" nevű munkacsoportjának az 1998-as beszámolója [56]:

1. Analitikus modellek

Az *analitikus modellek* első képviselője Prof. M. Eugene Merchant, aki egy nyírási sík feltételezésével megalapozta a forgácsolás analitikus modellezését [58]. Merchant munkája két alapvető fizikai feltételezésen alapszik [57]:

- Forgácsegyensúly: a forgács úgy tekinthető, mint egy merev test, melyre külső erők hatnak.
- Az eredő erő és a nyírási sík a forgácsolás során egy meghatározott szöget zár be [57][58][27].

Az elmúlt évek során számos analitikus modell került kifejlesztésre és felhasználásra. Li és munkatársai a forgácsolási erő három komponensét és a forgácsolási hőmérsékletet és a forgácsképződés paramétereit becslik analitikus modell alkalmazásával, Peklenik és Jerele a forgácsolási erő komponenseit és a forgácsolási teljesítményt becsli egy, a forgácsolási folyamat energiaátadási modelljét felhasználva [74]. A forgácsolási folyamattal kapcsolatos döntések támogatására fejlesztettek ki Chryssolouris és munkatársai egy eszközt, mely a forgácsolási erő meghatározására egy, az energiaminimum elvén alapuló, analitikus modellt használ [33]. P. Oxley munkásságát [73] folytatva, analitikus modellt használnak Jawahir és munkatársai a forgácsolási folyamat "belső" paramétereinek meghatározására [51].

2. Empirikus modellek

Az *empirikus modellek* már kevésbé alapszanak a forgácsolási folyamat megértésén, egzakt leírásán, sokkal inkább a gyakorlati tapasztalatokon, megfigyeléseken. Merchant is leírja, hogy az empirikus modellezés a mérési adatok valamilyen interpolációján alapul, így egy jobb, könnyebben használható eszközt nyújt, mint ha csupán a mérési adataink egy halmaza lenne megadva [57]. Az empirikus modellezés talán legjelentősebb, legkorábbi alakja Taylor, a közismert, nevét viselő összefüggés megalkotója volt [81]. Az empirikus modellezés előnyeit és hátrányait nagyon jól összefoglalta Robin Stevenson a General Motors Research and Development Center Munkatársa [80].

Armarengo és Whitfield forgácsolási erőt és teljesítményt becsül empirikus függvényekkel [25]. Schultz és Bimschas empirikus összefüggést használ marás esetén a forgácsolási erő becslésére [76]. Bertil N. Colding a Colding International Corporation-tól is empirikus összefüggéseket használ a szerszám éltartamának és a forgácsolási erő meghatározására. Nagyon nagy számú, háromezer, különböző anyag és szerszámkombinációra adta meg a konstansok értékeit [35]. A felületi érdességet meghatározó modellt (képletet) mutat be Fang esztergálás esetén [42]. Wright és munkatársai marási folyamat esetén a forgácsolási erő és a felületi érdesség leírásán túl

még a munkadarab pontosságára is adnak analitikus-empirikus, azaz hibrid modellt [94]. Tönshoff és munkatársai empirikus modelleket (képleteket) gyűjtöttek össze a köszörülési folyamat leírására [83]. Empirikus összefüggést használnak Yerramareddy és munkatársai a forgácsolási erő három komponensének, a felületi érdességnek, valamint a kopottságnak a meghatározására [95]. Az empirikus összefüggést összehasonlítják egy mesterséges neurális háló modell becslési eredményeivel és egyértelműen arra következtetnek, hogy a becslési pontosságot tekintve a mesterséges neurális háló alapú modell felülmúlja az empirikus megközelítést.

3. A forgácsolás alapvető ismert fizikai összefüggésein alapuló modellezési technikák, pl. végeselemes modellezés, differenciálegyenletek használata

A forgácsolás alapvető ismert fizikai összefüggésein alapuló modellek: A különböző differenciálegyenletek felírásakor a modellalkotó mindig valamilyen fizikai összefüggést feltételez, és ezt az összefüggést fogalmazza meg valamilyen, legtöbbször differenciálegyenlet(ek) alak(já)ban [79][80]. Ezt a modellezési módszert sokan az analitikus modellek egyik ágaként ismertetik, mert az összefüggések megfogalmazásakor sokszor a Newton-i fizikát, vagy valamely alapvető kutatási eredményt használnak fel (pl. súrlódás folyamata, hőátadás, stb.). Az egyenlet(rendszerek) megoldására leggyakrabban alkalmazott technika a végeselemes megoldási módszer, de természetesen sokszor az egyenletek direkt módon is megoldhatók. R. Stevenson a General Motors munkatársa ismerteti a végeselemes módszerek előnyei és hátrányait [80]. A végeselemes módszereknek a legnagyobb előnye, hogy ezek egy igazi prediktív eszközt adnak az alkalmazó kezébe [55]. Probléma, hogy szükség van az eredmények jóváhagyására, összevetésére a gyakorlati tapasztalatokkal.

Grabec a fogácsolási folyamatot egy nem lineáris, kaotikus folyamatként fogja fel [44], mely egzakt matematikai leírást igényel [72]. A káosz létezésének igazolásával foglalkoztak Bukkapatnam és munkatársai, akik nagyszámú kísérletet végeztek esztergálás esetén [30]. A mérési eredmények alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a forgácsolási folyamat egy alacsony dimenziójú kaotikus folyamat, így a folyamat paramétereinek közti összefüggéseket a különböző tanuló algoritmusok meg tudják tanulni, és mivel az ilyen folyamatok szabályozhatóak, így a forgácsolási folyamat is az. A forgácsolás kaotikus viselkedésének ismerete vezette Govekart és Grabec-et arra, hogy a forgácsoló szerszám éltartamának meghatározására a forgácsolási erőből számított, a káoszelméletből származó paramétereket használjanak [45]. A forgácsképződés folyamatára épített végeselemes modellt Shirakasi és Obikava [77]. Ehhez hasonlóan épített végeselemes módszert Ceretti is, aki azt a megoldást használta a forgácsolás törési folyamatainak modellezésére, hogy ha egy elem paramétere elérték a törési kritériumot, akkor azt az elemet törölte az anyagból [31]. Lovell és munkatársai figyelembe vették a szerszámbevonatolás hatását is [55].

4. Mesterséges intelligencia módszereken alapuló modellek

A mesterséges intelligencia módszerek alkalmazása egy viszonylag új megközelítést képvisel a forgácsolási folyamatok modellezésében. Az intelligens viselkedésnek egyik legfontosabb alapköve a rendszereink tanulási, adaptációs képességének biztosítása [16]. Különösen így van ez a forgácsolási folyamat modellezésekor, hiszen itt általában nem ismertek a paraméterek közti pontos összefüggések, kapcsolatok [17]. Az intelligencia egy másik igen fontos alapköve a megszerzett

tudás tárolásának módja, más néven a tudásábrázolás. Ebből a szempontból a mesterséges intelligencia módszereket két részre lehet osztani: szimbolikus és szubszimbolikus módszerekre.

A forgácsolási folyamat modellezésére általában szubszimbolikus módszereket használnak. Ennek oka az, hogy a forgácsolási folyamat modellezése a gyártásszimuláció alsó szintjén helyezkedik el, ahol a valósídejűség, a szenzorintegráció, a hibatűrés, stb. követelményei miatt inkább a szubszimbolikus módszerek, legtöbbször a mesterséges neurális hálók nagyszámú alkalmazása figyelhető meg [15][21]. Li és munkatársai mesterséges neurális hálót használtak arra, hogy az analitikus modellből számított erő, hőmérséklet és forgács paraméterek alapján megbecsülje a kopottságot, a munkadarab felületi érdességét és a forgács, törési tulajdonságát (a forgácssűrűség index paraméter alkalmazásával) [53]. A szerszámkopottságot becsülte Dornfeld, erő és akusztikus emissziós mérési jelekből számított paraméterek felhasználásával [38]. Mesterséges neurális hálót használnak Yerramareddy és munkatársai a forgácsolási erő három komponensének, a felületi érdességnek, a kopottságnak a meghatározására [95].

A mesterséges neurális háló alapú modellezés hátránya, hogy nem prediktív, a tanulási minták terén kívüli, újabb feladatok esetén ismételt kísérleteket kell elvégezni. Az adatok interpolációjának módjában viszont igen nagy eltérés figyelhető meg a mesterséges neurális háló alapú és az empirikus modellek között. A mesterséges neurális háló modellek nagyobb adatmennyiséget igényelnek, viszont többek közt hatalmas előnye ennek a technikának, hogy az empirikus modellekkel szemben nem szükséges a paraméterek közti összefüggéstípusok modellalkotás előtti ismerete, a modellalkotás (a tanulás) során ezt maguk megtalálják. Ennek az előnynek viszont az az "ára", hogy a modellalkotási, azaz a tanulási fázis általában hosszabb, mint az empirikus modellek esetén. Munkadarab megmunkálási idejét becsülve, ezekre a következtetésre jutott pl. Wank és Stockton is [91]. Dolgozatomban is a mesterséges neurális háló alapú modellezéssel foglalkozom.

A gyártási folyamatok optimalizálásában is lényeges szerepet kapnak a folyamatmodellek. A következőkben néhány gyártási, forgácsolási példát mutatok be, melyek a különböző gyártási szinteken tükrözik a folyamatok *optimalizálásának különböző lehetséges megoldásait*.

Jawahir és munkatársai végelelemes és analitikus modellekre alapozott optimalizáló eszközt valósítottak meg [51].

Colding bemutatta, hogy az általa megalkotott empirikus forgácsolási modell is használható az optimalizálásban [35]. Empirikus forgácsolási modelleket használ Wright és Stori a forgácsolási paraméterek optimalizálásához [94]. Kiváló cikkükben leírják, hogy:

- az a legjobb szimuláció, amelyik a legpontosabban becsli az ismeretlen paramétereket,
- a mai szimulációs eszközök nem támogatják megfelelően a tervezést, melynek egyik oka, hogy
- a szimulációs modellek legtöbbször nem invertálhatóak, így
- a szimulációt egy iteratív eljárásen keresztül lehet optimalizálásra használni, mely legtöbbször hosszú ideig tart.

Marás esetén „optimális” szerszámpályát határozott meg Schultz és Bimschach, akik ehhez felhasználták az általuk megalkotott gép, munkadarab és technológia modellt [76]. Cikkükben áttekintést adtak a marási paraméterek egy lehetséges optimalizálásáról, melyet hat szintre osztottak.

Gyártósorok optimalizálása a célja Westkämper-nek és Schmidt-nek, akik három szempontot vettek figyelembe: a gyártási költségek és a gyártási idő minimalizálására tettek javaslatot, úgy,

hogy a gyártott termék kielégítse a minőségi követelményeket [92][93]. Mindkét optimalizálásban folyamatmodellnek a szerzők mesterséges neurális hálókat javasolnak.

Optimalizálás nem csak a megmunkálás szintjén lehetséges, hanem a termelés más szintjein is. Ilyen, üzem szintű optimalizálást valósítottak meg Bley és munkatársai is [29]. Az üzemszintű termelés-szimuláció eszközeként a SIMPLE++ programot használták, mely a különböző beállításoknak megfelelően szimulálta a termelést, és így meghatározta a termelést kiértékelő paraméterek értékeit, melyeket a beállítási paraméterekkel együtt eltároltak.

4. Hazai előzmények és háttér

Az intelligens gyártórendszerekkel és a mesterséges intelligenciával kapcsolatos kutatások a hazai területen a 80-as évekig nyúlnak vissza, melyek gyakorlatilag az első nemzetközi kezdeményezésekkel egy időben indultak [28][39][40][41][47][48][49][59][60][61][62][63][64][65][66][67][68][69][70][71][78][79][87][89][36][84][86]. A területhez kapcsolódó kutatások három jelentős intézmény nevéhez fűződnek: Budapesti Műszaki Egyetem, Miskolci Műszaki Egyetem, MTA SZTAKI.

A Budapesti Műszaki Egyetem nagy hagyományokkal rendelkezik a megmunkálási folyamatok modellezése, optimalizálása, mérése és adaptív szabályozása terén (Alpek Ferenc, Horváth Mátyás, Markos Sándor, Mészáros Imre, Stépán Gábor, Somló János, Szalay Tibor)

A Miskolci Műszaki Gépészmérnöki Karán jelentős kutatási és fejlesztési munkák folytak, melyek során különböző gyártási és folyamatmodellek kerültek felhasználásra. Az egyes folyamatok szimulációja a különböző modellezési technikákon alapult (pl. fuzzy, neurális háló, empirikus, analitikus, SIMPLE++, stb.) (Cser István, Dudás Illés, Erdélyi Ferenc, Kundrák János, Tóth Tibor).

Az intelligens gyártórendszerek és az intelligens technikák használata a gyártás különböző területein témában az MTA SZTAKI-ban a 80-as évek kezdetén indultak kutatások a Herman Gyula vezette osztályon. Témavezetőm, Monostori László irányítása mellett jelentős eredmények születtek a digitális jelfeldolgozáson és alakfelismerésen alapuló többfunkciós felügyeleti rendszerek kutatása és fejlesztése terén. Szintén Monostori László nevéhez fűződnek a mesterséges neurális hálózatok kutatásában és gépipari alkalmazásában elért eredmények is, melyek munkám kiindulópontját képezték.

A mesterséges intelligencia különböző célú gépipari felhasználása terén számottevő magyar vonatkozású kutatások és fejlesztések voltak, melyek közül a legjelentősebbek a vizuális alakfelismerés, robotika területén Vámos Tibor és Báthor Miklós, befogószerkezetek területén Márkus András, a folyamattervezés és optimalizálás területén Tóth Tibor, képlékenyalakítás területén Cser László, a gyártórendszerek tervezése és szimulációja terén Kovács György és Mezgár István munkái. A genetikusan algoritmusok alkalmazása a folyamattervezésben Horváth Mátyás, Márkus András, Váncza József, nevéhez fűződik. Külön ki kell emelni Hatvany József munkásságát, mely jelentősen befolyásolta az MTA SZTAKI-ban és a Magyarországon folyó kutatási munka irányvonalát és nemzetközileg is komoly elismerést aratott.

A mesterséges neurális hálózatok területén Roska Tamás és kutatócsoportja végzett nemzetközi szinten is kiemelkedő kutatásokat és fejlesztéseket.

5. A kutatás módszere

A kutatási tevékenység során az irodalomkutatás, problémafelvetés, megoldás kutatása, eljárásfejlesztés, a problémát megoldó eszköz kialakítása lépések egymásra épülő és kölcsönös folyamatát követtem. Az így létrehozott eszközök tesztelésével, kísérletekkel, rendszerfejlesztéssel, valamint a gyakorlati alkalmazások kialakításával igazoltam a létrehozott eljárások és eszközök alkalmazhatóságát.

Az intelligens gyártás és mesterséges intelligencia rendszerek rendkívül átfogó, sok tudományágat érintő fejlődési irányzatokat képviselnek, amit a kutatási módszertan megtervezésénél messzemenőleg figyelembe kellett vennem.

Korábbi kutatásaim során már foglalkoztam a forgácsolási folyamat neurális háló alapú modellezésével [14][18][20][22] és ez volt a témája az MTA SZTAKI, a Bécsi és Budapesti Műszaki Egyetem együttműködése keretében elkészített diplomamunkámnak is [1][17][24].

Szakirodalmi kutatómunkám során áttekintettem az intelligens gyártás és ezen belül is a mesterséges intelligencia, ill. a mesterséges neurális hálózatok gyártástechnológiai alkalmazásának nemzetközi és hazai irodalmát, valamint a területen fellelhető elméleti és gyakorlati eredményeket, tapasztalatokat. Tanulmányoztam gyártástervezés és gyártás különböző szintjein használt neurális hálózatok alkalmazásának stratégiáját, az alkalmazás általános lépéseit, ill. a gyártási folyamatok optimalizálásának módszereit, feltételeit.

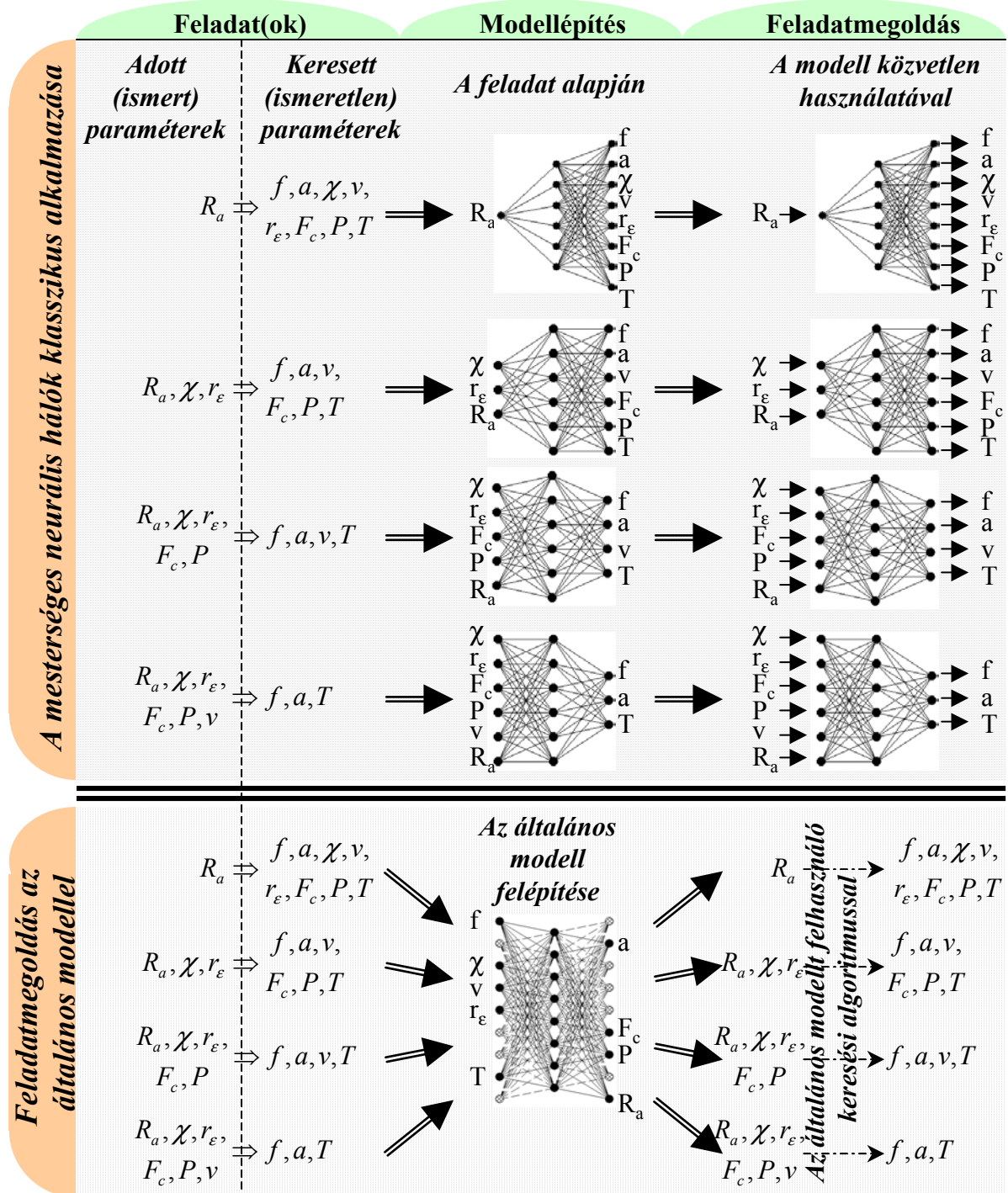
A gyártási folyamatok modellezésekor igen gyakran folytonos változók közti összefüggéseket kell modellezni és a modellnek rendelkeznie kell interpolációs képességgel. Ez a két feltétel nagymértékben meghatározza az alkalmazható neurális háló típusát. A különböző neurális háló típusokról igen jó, áttekintő képet ad Lippmann cikke [54]. Folytonos paraméterek közti modellezésre és interpolációra alkalmas modellként többek közt Lippmann is a Multi Layer Perceptron-t jelöli meg [54]. E hálótípus további előnye még az, hogy a rejtett rétegében nagyfokú multidimenziós, nemlineáris transzformációt valósít, mely igen kedvező a nemlineáris összefüggések (amik, pl. számos gyártási folyamatban megfigyelhetők) modellezésekor. Ezek az előnyös tulajdonságok (és persze a tanulási képesség), ill. az előzőekben megfogalmazott elvárások miatt választottam ezt a neurális háló típust modellezési eszköznek és ugyanennek a hálótípusnak az alkalmazási lépéseit vizsgáltam meg részletesebben.

A neurális hálózatok gyártástechnológiai alkalmazása során megfigyelhető általános lépések feltárása után rámutattam a mesterséges neurális hálók klasszikus alkalmazásának gyengeségeire. A gyengeségek ismerete alapján azonosítottam azt az általánosan használt lépést, mely ezeket a gyengeségeket okozza. Ez a lépés az adott feladattól függő modellalkotás volt.

A problémát okozó általános lépés azonosítása után egy új algoritmust dolgoztam ki, mely a modellépítést a modellezendő folyamattal kapcsolatos adott, ill. lehetséges feladatoktól függetlenül építi fel a neurális hálómoddelt, célja a paraméterek közt lévő, adott pontossággal modellezhető összefüggések meghatározása. A folyamat leírásához használt összes paraméter közt lévő valamennyi összefüggést magába foglaló modellt a folyamat általános modelljének nevezem, így a kidolgozott modellépítési eljárás a folyamat általános modelljét adja eredményül.

Az algoritmust megvalósító eszköz tesztelése azt mutatta, hogy az általános modell már megszüntetheti a fent megismert gyengeségeket.

Az általános modell felépítése, azaz a modell input-output konfigurációjának meghatározása az adott feladattól függetlenül zajlik, így kidolgoztam egy módszert, azaz egy új algoritmust, melynek felhasználásával az általános modellt alkalmazva megoldhatóak az adott folyamattal kapcsolatos, különböző feladatok (2. Ábra.).



2. Ábra. A mesterséges neurális hálók klasszikus és az általános kidolgozott (az általános modellt felépítő és azt egy keresési eljárásban alkalmazó) feladat-megoldási stratégia közti különbségeket szemlélteti az ábra. Az így kidolgozott feladatmegoldási-stratégia megoldja a mesterséges neurális hálók klasszikus alkalmazásával kapcsolatos, korábban már ismertetett problémákat.

Az így kifejlesztett, általános modellt alkalmazó eszköz tesztelése azt mutatta, hogy megoldhatóvá válnak az adott gyártási folyamatot meghatározó, a gyártástervezés és gyártás különböző szintjein és területein jelentkező feladatok, mi több, az eszköz ismételt használatával az adott feladat több megoldása is meghatározható.

A gyártási optimalizálás módszereinek és feltételeinek elemzése során azonosítottam a különböző módszerek azonos és eltérő lépéseit és technikáit [48][85][87]. Az azonosságok a következők voltak:

- Minden esetben vannak korlátozó feltételek.
- Minden esetben vannak modellek, melyek a különböző paraméterek közti összefüggéseket írják le valamely tudásábrázolási mód segítségével.
- Minden esetben van(nak) optimalizálási cél(ok).

Az eltérések a következőkben mutatkoztak:

- A különböző alkalmazásoknál eltérőek a korlátozó feltételek.
- Az egyik legnagyobb különbség a paraméterek közti összefüggéseket leíró modellek különbözősége.
- A másik legnagyobb különbség az optimalizálandó cél(ok)ban jelentkezik.

Az eltérések és az azonosságok felismerése után egy olyan eljárás, algoritmus és ezeket alkalmazó eszköz kifejlesztését tűztem ki célul, mely:

- lehetővé teszi gyártósorok, kapcsolt folyamatok modellezését, optimalizálását,
- alkalmazható a gyártástervezés és gyártás különböző szintjein,
- lehetővé teszi különböző optimalizálási feladatok különböző korlátozási feltételek melletti elvégzését,
- különböző típusú folyamatmodelleket is tud használni az összefüggések leírására,
- egy időben különböző céloknak megfelelően tud optimalizálni,
- a különböző célok fontossága változtatható,
- támogatja a különböző optimalizálási célok között lehetséges kompromisszumok meghatározását,
- az előző szempontok változtatásában megfelelően rugalmas.

A megvalósításhoz egy új algoritmust dolgoztam ki és kifejlesztettem a "*ProcessManager*" keretrendszert. A program lehetőséget ad kapcsolt folyamatok modelljének összeállítására és optimalizálására.

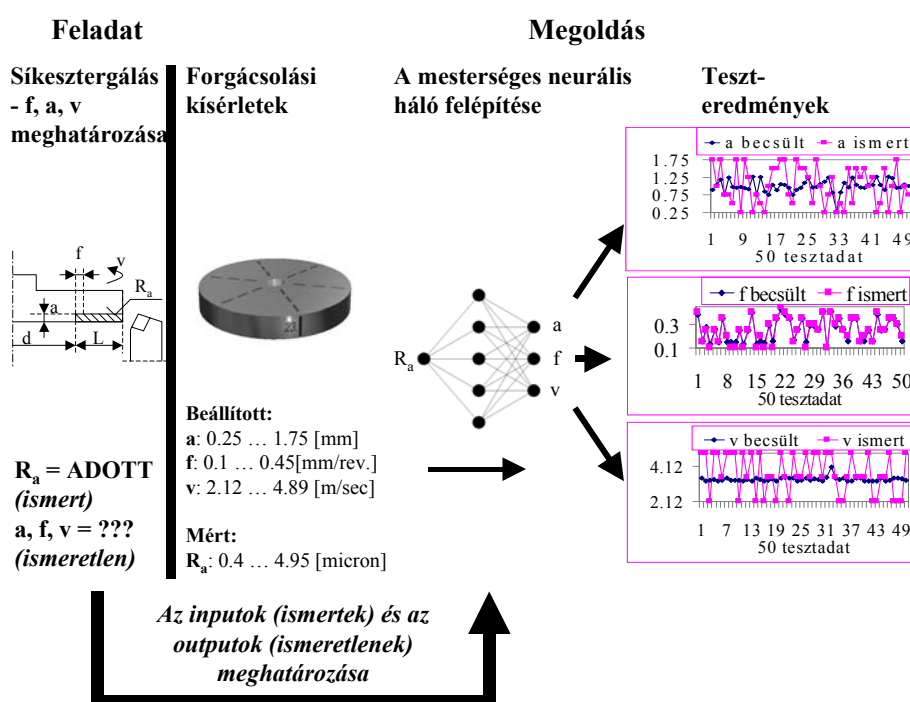
A kutatás során kifejlesztett eszközöket alkalmaztam elméleti összefüggések, ill. empirikus összefüggéseken és méréseken alapuló forgácsolási folyamatok modellezésére, a folyamatokkal kapcsolatos feladatok megoldására és a folyamatok különböző szempontú optimalizálására is. Az eszköz tesztelése alátámasztotta a gyakorlati alkalmazhatóságot.

6. A kutatás eredményei, tézisek

Az egyes tézisek végén, // zárójelek közt tüntettem fel a disszertáció adott téziséhez tartozó fejezetét. *A tézisekben dőlt betű jelzi a konkrét eredményeket, állításokat*, a többi a felvetés, magyarázat. A kutatásaimban a korábban említett okok miatt (5 fejezet), az előrevezető (többrétegű perceptron) hálómoddellel foglalkoztam, a tézisek is erre a (leggyakrabban használt) mesterséges neurális hálótípusra vonatkoznak.

1. Téziscsoport

A gyártásban alkalmazott mesterséges neurális háló alapú folyamatmodellezés általános lépéseinek azonosítása. A mesterséges neurális hálók klasszikus alkalmazásának (3. Ábra.) gyengeségei. A gyengeség okának meghatározása, az általános modell felvetése és definiálása.



3. Ábra. Az ábra a mesterséges neurális hálók klasszikus alkalmazásának négy lépését mutatja (egy síkesztergálási példán bemutatva). A mesterséges neurális hálók klasszikus alkalmazása alapján az ismert paraméterek alkotják a háló bemeneteit, az ismeretlenek pedig a kimenteit.

1.1. A mesterséges neurális hálók klasszikus alkalmazásánál a folyamatmodellezés az adott feladat alapján történik, azaz a feladat megoldása során ismert paraméterek szerepelnek a modell inputjaiként, az ismeretlenek pedig a modell outputjaiként. *Bemutattam, hogy a mesterséges neurális hálók klasszikus alkalmazása, azaz a feladat alapján történő modellépítés az itt felsorolt hátrányokkal rendelkezik:*

- A klasszikus alkalmazási stratégia szerint a modell alkalmazásához ismerni kell a modell input paramétereit, melyek alapján lehetővé válik az output paraméterek becslése. Ha egy másik feladatban ettől eltérő az ismert-ismeretlen paraméterek halmaza, akkor a klasszikus alkalmazási stratégia szerint újra el kell végezni a

modellépítést, azaz csak korlátozottan valósul meg a felhalmozott, megtanult tudás újrahasznosításának lehetősége. [2][13] /7.2.1/

- A klasszikus módszer nem oldja meg a nem-invertálható összefüggések modellezésének problémáját. A stratégia nem biztosítja, hogy a modellépítés során az egyes paraméterek az invertálhatóság szempontjából helyesen kerüljenek a modell inputjára, ill. outputjára. [8][12] /7.2.2/

- A modellépítés nem veszi kellően korán figyelembe a modellel szemben támasztott pontossági követelményeket, a modell becslési pontossága csak a modell tesztelése során kerül meghatározásra. A modellel szemben előírt pontossági követelmények teljesítése különösen nagy hangsúlyt kap egymással kapcsolatban álló folyamatok, pl. gyártásorok modellezése esetén. [2][3][12] /7.2.4/

A problémák okainak keresése és a mesterséges neurális hálók klasszikus alkalmazási stratégiájának tanulmányozása során

- *felismertem, hogy az itt felsorolt hátrányok oka az, hogy ez a módszer a modellépítés során nem veszi figyelembe a választott (előrevezető) mesterséges neurális háló leképzési képességét.* [1][6][10][12] /8.1/

1.2. A gyártástervezés és gyártás különböző hierarchikusan szervezett szintjeihez kapcsolódó döntések általában az adott gyártási feladattal kapcsolatos gyártási folyamat bizonyos részeinek, paramétereinek meghatározását jelentik. A gyártási folyamat modellezése a folyamat bizonyos paramétereinek közti összefüggéseket írja le, a gyártással, gyártástervezéssel kapcsolatos döntések a folyamatparaméterek megválasztásával, értékeinek megkötésével egyenértékűek (pl. a modellezés szempontjából a szerszámválasztás a szerszámot leíró paraméterek értékeinek megválasztását jelenti). Az egyes paraméterek megkötése pedig meghatározó szerepet játszik a további döntések meghozatala során.

- A gyártástervezés és gyártás hierarchikusan szervezett szintjein fentről lefelé haladva egyre nő a folyamattal kapcsolatos kötött paraméterek száma, és folyamatosan csökken a még szabadon választható paraméterek száma. Lentről felfelé haladva a folyamat pontosan fordított. A gyakorlatban a különböző szinteken adódó feladatok megoldására különböző részletességű modelleket használnak. *E felismerésem alapján felvetettem, hogy a gyártástervezés és gyártás hierarchikusan rendezett szintjein jelentkező feladatok megoldásához elegendő lehet egy, a folyamatot általánosan és részleteiben leíró modellt használni. Ezt a modellt a folyamat "általános modelljének" nevezem, melyet a lehetséges megoldandó feladatoktól függetlenül építünk fel, és melynek magába kell foglalnia a folyamat leírásához használt összes paraméter közt lévő összes összefüggést.* [10][11] /7.2.3/

2. Téziscsoport

Neurális háló alapú, általános modell felépítése függetlenül a gyártási folyamattal kapcsolatos adott, ill. lehetséges feladatoktól.

2.1. A mesterséges neurális hálók klasszikus alkalmazásának gyengeségeinek és a gyengeséget okozó lépéseknek azonosítása után egy új eljárást, algoritmust dolgoztam ki, amely az adott folyamattal kapcsolatos adott, ill. lehetséges feladatoktól függetlenül végzi a folyamat neurális háló alapú általános modelljének felépítését.

- Felismertem, hogy a feladattól független neurális háló modell felépítését a modell input-output konfigurációjának automatikus, feladattól független meghatározásával lehet megoldani.
- Bemutattam, hogy a modell input-output konfigurációjának automatikus meghatározását a modellépítés, azaz a tanulás során alkalmazott keresési algoritmussal lehet megoldani.
- Megállapítottam, hogy a keresési tér az adott folyamat modelljének összes lehetséges input-output konfigurációjából áll és, hogy a keresési tér egy pontjának kiértékeléséhez el kell végezni a ponthoz tartozó input-output konfigurációval rendelkező háló tanítását.
- Rámutattam, hogy ez a kiértékelési módszer időigényes, ezért a sequential forward selection (SFS) [37] keresési algoritmust javasoltam a megvalósításra.
- Kidolgoztam azokat a módosításokat és lépéseket melyek az SFS algoritmust alkalmazva a folyamat "általános modell"-jét adják eredményül. Az algoritmus egyszerre tanulási és keresési algoritmus is, mely a neurális háló tanulási sebességét használja heurisztikaként. Az algoritmust a "Neureca2" programcsomagban valósítottam meg. [10][11][12] /8.2/ Az algoritmus több előnyös tulajdonsággal rendelkezik:
 - A algoritmus eredményeként kapott modell megoldja a nem-invertálható összefüggések problémáját. [10][11][12] /8.3.1/
 - Már a modellépítés során figyelembe veszi a modellel szemben támasztott pontossági követelményeket. [6][10][11][12] /8.2/
 - Megtalálja az előírt pontossággal modellezhető összefüggések maximális számát. [10][11][12] /8.3.2/

2.2. Az algoritmus megismételt futtatása különböző általános modelleket eredményez.

- Bemutattam, hogy a többször megismételt kereséssel az adott folyamat, különböző, lehetséges, általános modelljei állíthatóak elő.
- Kísérletsorozattal igazoltam, hogy az ismételt keresés által szolgáltatott különböző általános modellek becslési pontossága között általában nincs szignifikáns különbség, azaz az adott folyamat általános modelljének felépítéséhez elegendő a keresést egyszer végrehajtani. [10][11][12] /8.3.2/

3. Téziscsoport

Az adott folyamattal kapcsolatos feladatok megoldása az általános modellt felhasználó keresési algoritmus alkalmazásával. A feladatok különböző megoldásainak meghatározása.

3.1. Az adott folyamat általános modelljére alapozva új eljárást, algoritmust dolgoztam ki, amely alkalmas a folyamattal kapcsolatos különböző feladatok megoldására.

- Felismertem, hogy a különböző feladatok megoldására alkalmas egy, a folyamat általános modelljét felhasználó keresési algoritmus.
- Meghatároztam, hogy a keresési tér az általános modell ismeretlen input paramétereiből áll.
- Bemutattam, hogy a megoldásnak teljesítenie kell az ismert és ismeretlen output és ismeretlen input paraméterekre vonatkozó feltételeket.
- Rámutattam, hogy a keresés során, a keresési tér egy pontjának kiértékeléséhez ezen feltételekből származó hibát lehet alkalmazni.
- A keresés megvalósítására a szimulált hűtés, keresési algoritmust javasoltam, továbbá kidolgoztam az algoritmus alkalmazásának egyes lépéseit [43].

Az algoritmus felhasználásával tetszőleges, az adott folyamattal kapcsolatos feladat megoldható. A felhasználó az általános modell input-output konfigurációjától függetlenül megadhatja, hogy a folyamat paraméterei közül melyek ismertek és mi az értékük, ill. melyek ismeretlenek és ezek milyen paramétertartományokban helyezkedhetnek el. A kidolgozott új algoritmus alkalmazásával meghatározhatók az ismeretlen paraméterek értékei.

- Bemutattam, hogy az algoritmus alkalmazásával megoldódik a tudás újrahasznosításának problémája, mert a különböző feladatok megoldásához elegendő egy általános modellt felhasználni.

Ily módon kezelhetővé válnak a gyártástervezés és gyártás különböző szintjein és területein felmerülő feladatok is. /9.1.2, 9.1.3/ Az algoritmust a "Neureca2" programban valósítottam meg. [2][13][7][12] /9/

3.2. Általában egy feladatnak több megoldása is létezik.

- Bemutattam, hogy ha egy feladatnak létezik több megoldása is, akkor a keresés többször megismételt végrehajtása az adott feladat különböző megoldásait adja eredményül. Így az adott feladat különböző megoldásainak meghatározásán túl (a feladat megoldása során végrehajtott optimalizálással) lehetőség nyílik az optimális megoldás meghatározására is (ezt a mesterséges neurális hálók klasszikus alkalmazása a fent bemutatott hiányosságok miatt nem tudta biztosítani). [4][5][9] /9.1/

4. Téziscsoport

A gyártási folyamatok és folyamatláncok optimalizálása, az optimalizálási szempontok közti kompromisszumok meghatározása.

4.1. *Eljárást, algoritmust és programot fejlesztettem, mely alkalmas egymással kapcsolatban álló folyamatok, így gyártósorok modellezésére és optimalizálására. A folyamatláncokat, a folyamatokat leíró modellek egyes paramétereinek átadásával modelleztem. Kapcsolt folyamatok optimalizálásaira keresési eljárást fejlesztettem ki: [3][8] /10/*

- *Meghatároztam, hogy a keresési tér az összes modell összes ismeretlen input paraméteréből áll.*
- *Felismertem, hogy a gyakorlati optimalizálási szempontokat az egyes modellparaméterek optimalizálásával lehet kielégíteni és ennek megfelelően el kell végezni az optimalizálási szempontok és az egyes modellparaméterek megfeleltetését.*
- *Rámutattam, hogy a megoldásnak teljesítenie kell az összes modell összes ismeretlen input, ismeretlen és ismert output paramétereire vonatkozó feltételeket.*
- *Megállapítottam, hogy e feltételekből származó hibát úgy lehet tekinteni, mint egy minimalizálandó optimalizálási szempontot, azaz egy szinten lehet kezelni az optimalizálási szempontokkal. A keresési tér egy pontjának kiértékeléséhez az optimalizálandó paraméterek súlyozott összegét lehet alkalmazni.*
- *Bemutattam, hogy a keresés során a feltételektől való eltérésből származó hiba súlyát a feltételek teljesüléséhez még éppen szükséges, lehetséges minimumra kell megválasztani. Felismertem, hogy a minimum egy keresési algoritmus alkalmazásával meghatározható.*

4.2. *A gyártási folyamatoknak gyakran különböző típusú, egymással összekapcsolt modelljei léteznek, a folyamatok optimalizálásának gyakran eltérőek a korlátozási feltételei és optimalizálási szempontjai. [3][8] /10/*

- *Kapcsolt folyamatok, pl. gyártósorok optimalizálására a szimulált hűtés algoritmusát javasoltam, továbbá kidolgoztam az algoritmus alkalmazásának egyes lépéseit. Az eljárás felhasználja az egyes folyamatok modelljeit és a köztük lévő kapcsolatokat is.*

4.3. *Bemutattam, hogy a keresési eljárás az optimalizálási szempontoknak megfelelő paraméterek súlyozásával alkalmas egyszerre különböző szempontok szerinti optimalizálásra és így az optimalizálási szempontok közti lehetséges kompromisszumok meghatározására. [4][5][7][9] /11/*

Az optimalizáló algoritmust a "ProcessManager" programban valósítottam meg [3][8].

7. Az eredmények hasznosítása, továbblépési lehetőségek

A kutatás során felhalmozott ismereteket és az eredményeket számos hazai és nemzetközi konferencián és folyóiratban adtam elő, ill. publikáltam, ill. felhasználtam a felsőfokú oktatásban is [22].

A kutatások során elért eredmények az alábbi projektekben kerültek hasznosításra:

Projekt címe:	A minőségbiztosítás intelligens eszközei Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA)
Témavezető:	Viharos Zs. J.
Projekt címe:	Az intelligens gyártást megalapozó kutatások Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA)
Témavezető:	Monostori L.
Projekt címe:	Minőségmenedzsment és Fuzzy logika (Quality management and Fuzzy logic) Magyar-Oszták Kormányközi Tudományos-Technológiai Együttműködési Program
Hazai témavezető:	Monostori L.
Projekt címe:	Az intelligens gyártást megalapozó kutatások II Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA)
Témavezető:	Monostori L.
Projekt címe:	DYCOMANS: Gyártási folyamatok dinamikus irányítási és menedzsment rendszerei (Dynamic Control and Management Systems in Manufacturing Processes) Az EU COPERNICUS Programja
Hazai témavezetők:	Keviczky L., Monostori L.
Projekt címe:	REMADE: Gyártási folyamatok újraszervezése szimuláció és dinamikus irányítási technikák segítségével (Re-engineering of Manufacturing Processes through Simulation and Dynamic control Techniques) Az EU PHARE TDQM Programja
Hazai témavezető:	Monostori L.
Projekt címe:	Integráció a gyártásban és azon túl (IiMB: Integration in Manufacturing and Beyond) Az EU ESPRIT LTR programja
Hazai témavezető:	Monostori L.

Projekt címe:	Intelligens gyártórendszerek (IMS: Intelligent Manufacturing Systems) Az ESPRIT LTR programja
Hazai témavezető:	Monostori L.
Projekt címe:	Pénzügyi és gazdasági döntések támogatására szolgáló szubszimbolikus és hibrid mesterséges intelligencia módszerek kutatása Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA)
Témavezető:	Monostori L.
Projekt címe:	Integráció a gyártásban Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság (OMFB)
Témavezető:	Monostori L.
Projekt címe:	Változások és zavarok kezelése gyártási struktúrákban Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA)
Témavezető:	Monostori L.
Projekt címe:	Autonóm, kooperatív rendszerek a termelésben Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság (OMFB)
Témavezető:	Monostori L.
Projekt címe:	DYCOMANS: Gyártási folyamatok dinamikus irányítási és menedzsment rendszerei II (Dynamic Control and Management Systems in Manufacturing Processes II) Az EU COPERNICUS Programja
Hazai témavezetők:	Keviczky L., Monostori L.

A kutatás során szerzett ismereteimet és tapasztalataim alkalmaztam az MTA SZTAKI és a székesfehérvári  Alba Plant között létrejött tanácsadási projektben is [21].

Tovább lépési lehetőségként meg kell említeni a következő kutatási, fejlesztési területeket, célokat:

- Egy adott folyamat általános modelljét felépítő eljárás kiterjeszthető neurofuzzy alapú modellekre is. Ez a kutatási irány az eredményül szolgáltatott fuzzy szabályok ha-akkor részeinek megfelelő, egyszerűsített meghatározásával, az ok-okozat felderítésével kecsegtet.
- Kapcsolt folyamatok, gyártósorok esetén ígéretes lehet a megerősítéses tanuláson alapuló modellezés és az optimalizálás egy rendszerben történő integrálása. E két eljárás megfelelő integrációja az egyes modellek használhatósági határainak optimalizálási szempontok szerinti kiterjesztését célozhatja meg.
- Kapcsolt folyamatok, gyártósorok esetén a megfelelő eljárások kiválasztása, az önszerveződés a célja a ma már igen intenzíven kutatott holonikus rendszereknek. Az egyes folyamatok általános modelljei és az így megvalósított optimalizálás egyaránt jelentős szerepet játszhatnak holonikus rendszerekben is.
- Igen nehéz feladatot, szép kihívást jelent az egyes folyamatok, rendszerek részproblémákká, részrendszerre bontása. Az egyes folyamatok általános modelljeinek felépítése előtt lehetne alkalmazni egy ilyen módszert, és így elegendő lenne csak a részrendszerek általános modelljét felépíteni. Ez mind az általános modelljének felépítését, mind a különböző feladatok megoldását is megkönnyítené. A közeljövőben egy ilyen eszköz megvalósítása lesz a célom.

8. A tézisekhez kapcsolódó fontosabb publikációk jegyzéke

- [1] MARKOS, S.; VIHAROS, Zs. J.; L. MONOSTORI; Quality-oriented comprehensive modelling of machining processes; 6th ISMQC IMEKO Symposium on Metrology for Quality Control in Production, September 8-10, 1998, Vienna, Austria, pp. 67-74
- [2] MONOSTORI, L.; VIHAROS Zs. J.; MARKOS, S.; Satisfying various requirements in different levels and stages of machining using one general ANN-based process model; 15th International Conference on COMPUTER-AIDED PRODUCTION ENGINEERING, CAPE'99, 19-21 April 1999, Durham, UK, pp. 477-484
- [3] MONOSTORI, L.; VIHAROS, ZS. J.: Multipurpose modelling and optimisation of production processes and process chains by combining machine learning and search techniques, The 32nd CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, New Supporting Tools for Designing Products and Production Systems, May 24-26, 1999, Leuven, Belgium, pp. 399-408
- [4] VIHAROS Zs. J., Monostori, L.; A general, ANN-based cutting model and its application in different phases of manufacturing; MicroCAD '99, International Conf. on Computer Research; 24-25 February, University of Miskolc, Hungary, 1999, (in print)
- [5] VIHAROS Zs. J.; Application capabilities of a general, ANN based cutting model in different phases of manufacturing through automatic determination of its input-output configuration; Journal of Periodica Politechnica - Mechanical Engineering, Hungary, (in print)
- [6] VIHAROS Zs. J.; Solutions of various assignments in different levels of machining using a general ANN-based process model; MOSYCUT - Model-based monitoring systems for cutting tools and processes, MOSYCUT Workshop-Ljubljana, 1998, pp. 65-72
- [7] VIHAROS, Zs. J., MONOSTORI, L., MARKOS, S.; A framework for modelling, monitoring and optimisation of manufacturing processes and process chains by using machine learning and search algorithms, 9th IMEKO TC-10 International Conference on Technical Diagnostics September 22-24, 1999, Wroclaw, Poland, pp. 249-254
- [8] VIHAROS, Zs. J.; MONOSTORI, L.; A compromise oriented optimisation tool for supporting decision making in machining, ICIMS-NOE-ASI'99, September 22-24, 1999, Leuven, Belgium, (in print)
- [9] VIHAROS, Zs. J.; MONOSTORI, L.; Intelligent, quality-oriented supervisory control of manufacturing processes and process chains; DYCOMANS Workshop, 12-14 May, 1999, Bled, Slovenia, pp. 129-134
- [10] VIHAROS, Zs. J.; MONOSTORI, L.; MARKOS, S; Selection of input and output variables of ANN based modelling of cutting processes. Proceedings. X. CIRP Workshop on Supervising and Diagnostics of Machining Systems, 21-26 March 1999, Karpacz, Poland pp. 121-131
- [11] VIHAROS, Zs. J.; MONOSTORI, L.; MARKOS, S; Selection of input and output variables of ANN based modelling of cutting processes. Journal of Machine Engineering, 4/98 (in polish) Poland (in print)
- [12] VIHAROS, Zs. J.; MONOSTORI, L; Automatic input-output configuration of ANN-based process models and its application in machining, Book: Lecture Notes of Artificial Intelligence - Multiple Approaches to Intelligent Systems, Conference, Cairo, Egypt, May 31-June 3, 1999, Springer Computer Science Book, Springer-Verlag Heidelberg, pp. 569-668
- [13] MONOSTORI, L.; VIHAROS Zs. J.; MARKOS, S.; Satisfying various requirements in different levels and stages of machining using one general ANN-based process model; Journal of Materials Processing Technology, Elsevier Science, UK, (accepted paper)

9. Egyéb, a témakörhöz kapcsolódó publikációk

- [14] ALPEK, F.; VIHAROS, Zs. J. ; Erfahrungen am Einsatz von neuronalen Netzen zur Bewertung der Oberflächenqualität, Danube - Adria Association for Automation and Metrology, 1995, Krakow, Poland, pp. 011-012
- [15] DOLINSEK, S.; KOPAC, J; VIHAROS, Zs. J.; MONOSTORI, L; An intelligent AE sensor for the monitoring of finish machining process, The Second International Conference on Intelligent Processing and Manufacturing of Materials, July 10-15, 1999, Honolulu, Hawaii, pp. 847-853

- [16] MONOSTORI, L.; EGRESITS, CS.; HORNYÁK, J.; VIHAROS, ZS. J.; Soft computing and hybrid AI approaches to intelligent manufacturing. Book, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 1416, Proceedings. 11th International Conference on Industrial & Engineering Applications of Artificial Intelligence & Expert Systems, 1998 jun 1-4., Castellon, Spain, pp. 763-774
- [17] OSANNA, P. H.; MONOSTORI, L.; ALPEK, F.; VIHAROS Zs. J.; Fertigungsparameterschätzung zur vorgeschriebenen Oberflächenqualität mittels neuronalen Netze. Proceedings. Danube - Adria Association for Automation and Metrology, 1996., Viena, pp. 311-312
- [18] SZALAY, T.; ALPEK, F.; MONOSTORI, L.; MARKOS, S.; VIHAROS, Zs. J.; Investigation of machined surfaces using artificial intelligence methods. International Conference on Machining Tools, 1996, Miskolc, Hungary, pp. 635-640
- [19] VIHAROS Zs. J.; A general ANN model of turning and its application for surface roughness estimation using acoustic emission signal; MOSYCUT - Model-based monitoring systems for cutting tools and processes, MOSYCUT Workshop 1998, Ljubljana, Slovenia, pp. 73-78
- [20] VIHAROS ZS. J.; Megmunkált felületek minősítése neurális háló alkalmazásával, Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, 1996, Kolozsvár, Románia, pp 7-13
- [21] VIHAROS Zs. J.; Tanulóalgoritmusok és alkalmazásaik a minőségellenőrzésben és a folyamatmodellezésben, MBA diplomamunka, Budapesti Műszaki Egyetem, Ipari Menedzsment és Vállalkozásgazdaságtan Tanszék, FORD Alba Plant
- [22] VIHAROS, Zs. J.; Felületmegmunkálási mód felismerése neurális hálóval című fejezet A mesterséges intelligencia módszerek gyakorlati alkalmazása című gyakorlati jegyzetben. Gábor Dénes Műszaki Főiskola, 1998
- [23] VIHAROS, Zs. J.; MONOSTORI, L.; Optimization of process chains by artificial neural networks and genetic algorithms using quality control charts. Proceedings. Danube - Adria Association for Automation and Metrology, 1997, Dubrovnik, pp. 353-354
- [24] VIHAROS, Zs. J.; Neurális háló alkalmazása felületi érdesség értékelésére és becslésére - Anwendung von neuronalen Netzen zur Bewertung und Schätzung der Rauheit der Oberflächen, Diplomamunka, MTA SZTAKI, Budapesti Műszaki Egyetem, Matematika, Gépgyártástechnológia Tanszék, Technische Universität Wien, Institut für Austauschbau und Messtechnik

10. A felhasznált irodalom jegyzéke

- [25] ARMARENGO, E. J. A.; WHITFIELD, R. C.; Computer based modelling of popular machining operations for force and power prediction. Annals of the CIRP, Vo. 34/1/1985, pp. 65-69
- [26] ATHAVALLE, S.; FURNESS, R.; Automation perspective of machining process modelling: expectations and challenges; Proc. of the CIRP International Workshop on Modelling of Machining Operations; 1998, Atlanta, USA, pp. 65-71.
- [27] BALI, J; Forgácsolás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1988
- [28] BARSCHDORFF, D.; MONOSTORI, L.; Neural networks, their applications and perspectives in the intelligent machining, Computers in Industry, Elsevier, Spec. Issue on Learning in Intelligent Manufacturing Systems, 1991, pp. 101-119.
- [29] BLEY, H.; WUTTKE, C. C.; KONTZ, M.; Automatic solution generator for complex logistical planning problems, Proc. of the 1th CIRP International Seminar on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, Capri, Italy, 1998, pp. 297-302
- [30] BUKKAPATNAM, S. T. S.; LAKHTAKIA, A.; KUMARA, S. R. T.; Analysis of sensor signals shows turning on a lathe exhibits low-dimensional chaos, Physical Review, 1995, September, Vol. 52, Nr. 3, pp. 2375-2387
- [31] CERETTI, E; FEM simulations of segmented chip formation in orthogonal cutting: further improvements. Proc. of the CIRP International Workshop on Modelling of Machining Operations; 1998, Atlanta, USA, pp. 257-263
- [32] CHANDRASEKHARAN, V.; Heavy equipment manufacturing industry; Proc. of the CIRP International Workshop on Modelling of Machining Operations; 1998, Atlanta, USA, pp. 80-84.
- [33] CHRYSSOLOURIS, G; GUILLOT, M; DOMROESE, M.; An approach to intelligent machining, Proc. Of the American Control Conference, Minneapolis, MN, June 10-12, 1987, pp. 152-160
- [34] COLDING, B. N.; A tool-temperature/tool-life relationship covering a wide range of cutting data, Annals of the CIRP, Vol. 40/1/1991, pp. 35-40

- [35] COLDING, B. N.; Theory and application of new algorithms to determine tool-life and forces over a large range of cutting conditions; Proc. of the CIRP International Workshop on Modelling of Machining Operations; 1998, Atlanta, USA, pp. 279-288.
- [36] DETZKY, I; FRIDRIK, L; TÓTH, T; On a new approach to computerised optimisation of cutting conditions, Conference on Advanced Technology in Design and Manufacturing, Victoria-Gasteiz, Spain, 1998, pp. 128-141
- [37] DEVIJVER, P. A.; KITTLER, J.; Pattern recognition, a statistical approach. Book. Prentice-Hall International Inc., England, London, 1982
- [38] DORNFELD, D. A.; Unconventional sensors and signal conditioning for automatic supervision, Proc. of the AC'90, III. CIRP Int. Conf. On Automatic Supervision, Monitoring and Adaptive Control in Manufacturing, Poland, 1990, Sept. 3-5, pp. 197-233
- [39] DUDÁS, I.; Intelligent techniques for the design and manufacturing of worm gearings, The Second World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems, Budapest, Hungary, 1997, pp. 430-438
- [40] EGRESITS, CS.; MONOSTORI, L.: NEURECA: An object oriented system under WINDOWS for ANN based monitoring and control of industrial processes, Collection of Summaries, 5th International DAAAM Symposium "Automation and Metrology: Challenge and Chance", October 20-22, 1994, Maribor, Slovenia, pp. 113-114.
- [41] EGRESITS, CS.; MONOSTORI, L.; HORNYÁK, J.: Multistrategy learning approaches to generate and tune fuzzy control structures and their applications in manufacturing, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 9, No. 4, August 1998, Special Issue on Soft Computing Approaches to Manufacturing, Chapman & Hall, pp. 323-329.
- [42] FANG, X. D.; Towards a universal reference model for machinability prediction, Proc. of the CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations; 1998, Atlanta, USA, pp. 379-385
- [43] FUTÓ, I; Mesterséges Intelligencia; Könyv, Aula Kiadó, 1999
- [44] GRABEC, I; Chaos generated by the cutting processes, Phys. Lett., 1986, Vol. A/117., pp. 384-386
- [45] GROVEKAR, E.; GRABEC, I.; Classification of cutting tool wear by chaotic characteristics, V. Int. Conf. On Monitoring and Automatic Supervision in Manufacturing, Warsaw, Poland, 1998, August 20-21., pp. 71-76
- [46] GÜNTHER, U.; VIRKUS, U; MÉSZÁROS, I; FESSENMAYER, W; Controlled changing of surface properties with the combination of ultraprecise turning and micro-surface forming, The Second World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems, Budapest, Hungary, 1997, pp. 646-650
- [47] HATVANY, J.; The efficient use of deficient knowledge; Annals of the CIRP, Vol. 32/1/1983, pp. 423-425
- [48] HORVÁTH, M.; MARKOS, S.; Gépgyártástechnológia. Egyetemi Jegyzet, Budapesti Műszaki Egyetem; Műegyetemi Kiadó, 1995.
- [49] HORVÁTH, M; SOMLÓ, J; A forgácsolások megmunkálások optimalizálása és adaptív irányítása. Műszaki Könyvkiadó, 1979.
- [50] Idegen szavak és kifejezések szótára; Akadémiai Kiadó; Budapest, 1989.
- [51] JAWAHIR, I. S.; Predictive modeling of machining performance in turning operations. Proc. of the CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations; 1998, Atlanta, USA, pp. 161-176
- [52] JUNKAR, M.; FILIPIC, B.; BRATKO, I; Identifying the grinding processes by means of inductive machine learning, Proc. of the First Workshop of the Intelligent Manufacturing Systems Seminar on Learning in IMSS, Budapest, Hungary, 1991, March 6-8, pp. 195-204
- [53] LI, X. P.; IYNKARAN, K.; NEE, A. Y. C.; A hybrid machining simulator based on predictive machining theory and neural network modeling, Proc. of the CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations; 1998, Atlanta, USA, pp. 417-427
- [54] LIPPMAN, R. P.; An Introduction to Computing with Neural Nets; IEEE ASSP Magazine, April 1987, pp. 4-22
- [55] LOVELL, M. R.; BHATTACHARYA, S.; ZENG, R.; Modeling of orthogonal machining processes for variable tool-chip interfacial friction using explicit dynamic finite element methods, Proc. of the CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations; 1998, Atlanta, USA, pp. 265-276
- [56] LUTTERVELT, C. A., CHILDS, T. H. C., JAWAHIR I. S., KLOCKE, F., VENUVINOD P.K.; Present situation and future trends in modelling of machining operations; Progress report of the CIRP working group "Modelling of Machining Operations", CIRP STC CUTTING KEYNOTE PAPER, 1998, pp. 1-47.
- [57] MERCHANT, M. E.; An interpretive look at 20th century research on modeling of machining; Proc. of the CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations; 1998, Atlanta, USA, pp. 27-31.
- [58] MERCHANT, M. E.; Mechanics of the metal cutting processes I, Orthogonal cutting and a type II chip, Journal of Applied Physics, 1945, Vol. 16/5., pp. 267-276
- [59] MEZGÁR, I.; KOVÁCS, L; Co-ordination of SME's production through a co-operative network, The Second World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems, Budapest, Hungary, 1997, pp. 555-560

- [60] MONOSTORI, L.: Connectionist and neuro-fuzzy techniques in intelligent manufacturing, Proceedings of the First World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems, February 13-17, 1995, Mayagüez, Puerto Rico, Vol. II, pp. 940-949.
- [61] MONOSTORI, L.: Hybrid AI approaches for supervision and control of manufacturing processes, Key-note paper, Proceedings of the AC'95, IV International Conference on Monitoring and Automation Supervision in Manufacturing, August 28-29, 1995, Poland, pp. 37-47.
- [62] MONOSTORI, L.: Intelligent manufacturing systems, Dissertation for the D.Sc. Degree of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary, 1998.
- [63] MONOSTORI, L.: Learning procedures in machine tool monitoring, North-Holland, Computers in Industry, Elsevier, Vol. 7, 1986, pp. 53-64.
- [64] MONOSTORI, L.: Monitoring of manufacturing processes by ANN and neuro-fuzzy techniques, Proceedings of the XIII IMEKO World Congress; From Measurement to Innovation, Vol. 3, September 5-9, 1994, Torino, Italy, pp. 2226-2231.
- [65] MONOSTORI, L.: Signal processing, decision making and reference data generation in machine tool monitoring, The Journal of Condition Monitoring, Vol. 3, N. 1, 1989, pp. 1-20.
- [66] MONOSTORI, L.: A step towards intelligent manufacturing: Modeling and monitoring of manufacturing processes through artificial neural networks, CIRP Annals, 42, No. 1, 1993, pp. 485-488
- [67] MONOSTORI, L.; BARSCHDORFF, D.: Artificial neural networks in intelligent manufacturing, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Pergamon Press, Vol. 9, No. 6, 1992, pp. 421-437.
- [68] MONOSTORI, L.: Digitális jelfeldolgozási és alakfelismerési módszerek rugalmas szerszámgépfelügyeleti rendszerekben; Kandidátusi Értekezés; Magyar Tudományos Akadémia; Budapest, 1986
- [69] MONOSTORI, L.; EGRESITS, CS.: Combined structure and parameter learning for intelligent manufacturing applications, Key-note paper, Preprints of the 3rd IFAC/IFIP/IFORS Workshop on Intelligent Manufacturing Systems - IMS'95, Vol. 1, October 24-26, 1995, Bucharest, Romania, pp. 7-12.
- [70] MONOSTORI, L.; EGRESITS, CS.: On hybrid learning and its application in intelligent manufacturing, Computers in Industry, Special Issue on Learning in Intelligent Manufacturing Systems, Vol. 33, No. 1, 1997, pp. 113-117.
- [71] MONOSTORI, L.; NACSA, J.: On the application of neural networks in real-time monitoring of machining processes, Preprints of the 22nd CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Enschede, the Netherlands, June 11- 12, 1990, pp. 6A 15-27.
- [72] MOON, F. C.; Dynamic and chaos in manufacturing processes, Book, A Wiley-Interscience Publication, J. Wiley and Sons INC., 1998
- [73] OXLEY, P. L. B.; Mechanics of machining: An analytical approach to assessing machinability, Ellis Horwood, Chichester
- [74] PEKLENIK, J; JERELE, A.; Some basic relationships for identification of the machining processes; Annals of the CIRP, 41/1/1992, pp. 155-159
- [75] SANDSTROM, D. S.; Perspective of aerospace industry; Proc. of the CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations; 1998, Atlanta, USA, pp. 75-77
- [76] SCHULTZ, H.; BIMSCHAS, K.; Optimisation of precision machining by simulation of the cutting processes, Annals of the CIRP, Vol. 42/1/1993, pp. 55-57
- [77] SHIRAKASHI T.; OBIKAWA, T.; Recent progress of computational modelling and some difficulties, Proc. of the CIRP International Workshop on Modelling of Machining Operations; 1998, Atlanta, USA, pp. 179-191
- [78] SOMLÓ, J; Forgácsoló megmunkálások folyamatainak optimalizálási és irányítási problémái, Kandidátusi disszertáció, MTA SZTAKI kiadvány, 1982.
- [79] STÉPÁN, G; KALMÁR-NAGY, T; Non-linear regenerative machine tool vibrations, Proc. Of DETC'97, ASME Design Engineering Technical Conferences, Sacramento, California, USA, 1997, Sept. 14-17, pp. 1-11.
- [80] STEVENSON, R.; Approaches to Modelling Metal Cutting - Benefits and Issues; Proc. of the CIRP International Workshop on Modelling of Machining Operations; 1998, Atlanta, USA, pp. 58-61.
- [81] TAYLOR, F. W.; On the art of cutting metals, Transactions, American Society of Mechanical Engineers, 1906, Vol. 28, pp. 70-350
- [82] Természettudományi Lexikon; Akadémiai Kiadó; Budapest, 1967.
- [83] TÖNSHOFF, K. H.; PETERS, J.; INASAKI, I.; PAUL, T; Modelling and simulation of grinding processes; Keynote Paper, Annals of the CIRP, Vol. 41/2/1992, pp. 677-688
- [84] TÓTH, T; DETZKY, I; CIM: On a New Theoretical Approach of Integration, Information Control Problems in Manufacturing Technology, INCOM'89, Madrid, Spain, 1989, pp. 273-279
- [85] TÓTH, T; ERDÉLYI, F.; The inner structure of computer aided process planning having regard to concurrent engineering, Proc. of the Second International Workshop on Learning in Intelligent Manufacturing Systems, Budapest, Hungary, 1995, pp. 141-167

- [86] TÓTH, T; Tervezési elvek, modellek és módszerek a számítógéppel integrált gyártásban, Egyetemi Tankönyv, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1998
- [87] TÓTH, TIBOR; Tervezési elvek, modellek és módszerek a számítógéppel integrált gyártásban, Egyetemi Tankönyv, Miskolci Egyetem, Informatikai Intézet, Miskolc, 1998
- [88] Új Magyar Lexikon; Akadémiai Kiadó, Budapest, 1962.
- [89] VÁNCZA, J.; MÁRKUS, A.; Genetic algorithms in process planning, The First Workshop of the Intelligent Manufacturing Systems, Seminar on Learning in IMS, Budapest, Hungary, 1999, pp. 329-348
- [90] VANKIRK, J.; Cutting tool industry; Proc. of the CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations; 1998, Atlanta, USA, pp. 86-90.
- [91] WANG, Q.; STOCKTON, D. J.; Process time estimating using neural networks, Proc. of the 15th Int. Conf. On Computer Aided Production Engineering, CAPE'99, Durham, England, Apr. 15-17., 1999, pp. 201-206
- [92] WESTKÄMPER, E.; SCHMIDT, T.; Computer assisted manufacturing process optimisation with neural networks, The Second International Workshop on Learning in Intelligent Manufacturing Systems, 1995, Budapest, Hungary, pp. 48 -53
- [93] WESTKÄMPER, E.; Zero-defect manufacturing by means of a learning supervision of process chains, Annals of the CIRP, Vol. 43/1/1994, pp. 405-408
- [94] WRIGHT P. K., STORI, J. A.; Application of process simulation in machining parameter selection, Proc. of the CIRP International Workshop on Modelling of Machining Operations; 1998, Atlanta, USA, pp. 365-377
- [95] YERRAMAREDDY, S; LU, S.; ARNOLD, K. F.; Developing empirical models from observational data using artificial neural networks; Journal of Intelligent Manufacturing, 1993, Vol. 4, pp. 33-41