



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

# MOZGÓ TALAJT SZIMULÁLÓ FUTÓSZALAG VEZÉRLÉSÉNEK MEGTERVEZÉSE

**Dohár Ádám**

/Z6F49Y/

Szakdolgozat  
/BMEGEÁTA4SD/

Benyújtva az  
Áramlástan Tanszéken  
2012 decemberében

a

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Mechatronikai mérnöki alapszak / Gépészeti modellezés  
képzésben

Bachelor of Science (BSc)  
fokozat megszerzésére

Konzulens:

Dr. Suda Jenő Miklós, egyetemi adjunktus

Áramlástan Tanszék  
Gépészmérnöki Kar  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

---

## NYILATKOZAT

Név: Dohár Ádám  
Neptun kód: Z6F49Y  
Egyetem: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Kar: Gépészmérnöki Kar  
Tanszék: Áramlástan Tanszék  
Alapszak / Szakirány: Mechatronikai mérnöki alapszak (BSc képzés)  
Gépészeti modellezés szakirány  
Szakdolgozat címe: Mozdó talajt szimuláló futószalag vezérlésének megtervezése  
Beadás éve: 2012 / 2013 - I.

Alulírott, Dohár Ádám (Z6F49Y), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy a bírálatra és a védelemre benyújtott jelen Szakdolgozat kizárólag saját munkám eredménye, konzulesem útmutatásai alapján meg nem engedett segítség nélkül magam készítettem.

A Szakdolgozatban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem, és a szerzői jogi szabályoknak megfelelően kezeltem (a szükséges lábjegyzet / végjegyzet hivatkozásokat, valamint az ábrák hivatkozását megfelelően helyeztem el).

Egyúttal elfogadom, hogy a Szakdolgozatban szereplő tudományos eredményeket a konzulensem Tanszéke felhasználhatja további kutatási vagy oktatási célokra.

Budapest, 2012. december 7.

---

(aláírás)

## TÁJÉKOZTATÓ

A mind nyomtatott, mind elektronikus formátumban benyújtott Szakdolgozat, valamint annak hivatalos bírálata a védelmet követően a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszék könyvtárában (H-1111 Budapest, Bertalan L. 4-6. BME „Ae” épület) érhető el.

## KIVONAT

Szakdolgozatom célja egy olyan vezérlőrendszer tervezése volt, amelyik alkalmas az Áramlástan tanszéken lévő NPL szélcsatorna, valamint a már összeszerelt, mozgó talajt szimuláló futószalag egységes működtetésére. Jelenleg a két rendszer vezérlési szempontból teljesen különálló és mindkét esetben a sebesség állítása manuálisan történik. Nagy pontosságú mérések elvégzéséhez alapfeltétel, hogy a környezet viselkedését szimuláló berendezések folyamatosan és precízen működjenek. Ennek értelmében, időszerű egy olyan számítógépes irányító felülettel ellátott vezérlő rendszer megtervezése, amely a folyamatos szabályozás révén lehetővé teszi a megkívánt értékek jó pontossággal történő tartását, valamint egységes felületet biztosít az eddig különálló részek együttes és összekapcsolt irányítására.

A dolgozat elején áttekintem a különböző, szakirodalomban található mozgó talajjal rendelkező szélcsatornákat, különös tekintettel a sebességszabályozásra, illetve egyéb automatizált folyamatokra. Ezen kívül megvizsgálom a futószalagoknak néhány, egyéb területen történő alkalmazását. (2. fejezet)

A 3. fejezetben összefoglalom, hogy a megépítendő rendszernek milyen követelményeknek kell megfelelnie. Mindkét esetben a szabályozás pontosságának mértéke nagyban függ az adott mennyiség mérésének pontosságától. A szélcsatorna esetében a nyomásmérésre visszavezetett sebességmérés relatív hibáját számítom ki különböző mérőeszközök és sebességtartományok esetén. Ebből egy képet lehet kapni, hogy a megépülő új rendszernek milyen feltételeknek kell megfelelnie. A futószalag esetében egyelőre nincs megépített mérőrendszer, így először a kialakuló sebességet befolyásoló rendszerelemeket és hatásuk nagyságát tekintem át, majd ennek tudatában a különböző mérési lehetőségek és megvalósításuk előnyeit és hátrányait vetem össze.

A 4. fejezetben az előzőekben megvizsgált eszközök és lehetőségek közül kiválasztom az adott feladatra megfelelőt. Ezek, valamint a már meglévő berendezések ki- és bemeneti jeleit összeszedve meghatározom, hogy még milyen szükséges jelátalakító, illetve feldolgozó egységekre van szükség a kompatibilitáshoz. A meghatározott eszközökhöz kiválasztom a pontos típust, gyári számmal. Bemutatom a teljes működőképesség eléréséhez végül kiválasztott elemeket, jeleket, valamint ezek egységes rendszerré való összekapcsolásának módját.

Miután a rendszer működéséhez szükséges fizikai elemeket megválasztottam az 5. fejezetben bemutatom a Labview szoftver segítségével írt kezelőfelületet, ennek használatát és lehetőségeit. Az általam írt program segítségével lehetőség van különböző kalibrációk elvégzésére, illetve a vezérlőjel alakulását befolyásoló számos paraméter állítására. Ezeknek a részeknek a blokk-diagramjait is bemutatom, így megérthetővé válik, hogy milyen folyamatok zajlanak a háttérben. A kezelőfelület használatával lehetőség nyílik a két rendszer együttes illetve külön-külön történő vezérlésére, illetve ezek változtatására, beépített funkciók segítségével.

---

## ABSTRACT

The goal of this thesis is to design a control system which is suitable to operate both the NPL wind tunnel and conveyor belt for moving ground simulations located in the Department of Fluid Mechanics, Mechanical Engineering Faculty at Budapest University of Technology and Economics. At present the two systems are independent regarding their control, which means the desired velocity is set manually. In order to be able to achieve high precision measurements it is needed to have equipments which simulate the environment of the measured objects with continuously high quality. Therefore it is timely to design a control system with a computer user interface, which enables the two systems to have high precision velocities set using feedback control loops and also gives an opportunity to connect the two systems.

The beginning of my work deals with the literature review. A closer look is taken to the wind tunnels around the world which are equipped with moving ground simulation systems mostly regarding their control and automation aspect. Besides that the use of conveyor belts in very different areas were investigated. (Chapter 2.)

In chapter 3 the overall requirements of such a system were examined and summed. In both cases the quality of the feedback control highly depends on the precision of the measurement devices. In the case of the wind tunnel the relative error of the pressure based velocity measurement is calculated for different devices and velocity ranges. From these results one can get a picture how precise the new equipments should be. For the conveyor belt there is no velocity measurement system implemented yet. Before designing it the parts which have an influence on the final belt velocity have to be examined. Knowing the effects which define the final velocity the advantages and disadvantages of the different sensor techniques can be seen.

In chapter 4 the exact methods and devices are chosen from the ones listed in the previous chapter. Their input and output signals are summed in order to see what additional equipments are needed in order to be able to connect them and have a complete control system. The exact devices are chosen with their order number. Therefore the whole system is designed with all the small details.

After the hardwares were chosen for the system the software is designed. In this chapter the program which was written in Labview is presented. Through its user interface the software allows us to set the desired velocity values, make calibrations, and also set the parameters used for the calculation of the control signal. The block-diagrams are also showed, so one can understand what happens in the background. Using the user interface it allows us to control the two systems separately or simultaneously with the built in functions.

# TARTALOM

<b>KIVONAT .....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IV</b>
<b>TARTALOM .....</b>	<b>V</b>
<b>1. BEVEZETÉS .....</b>	<b>1</b>
<b>2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS .....</b>	<b>2</b>
2.1. NASA.....	2
2.2. BMW .....	3
2.3. HORIBA .....	5
2.4. Hosszútávfutók légellenállásának meghatározása mozgó talajjal végrehajtott szélcsatorna kísérletekben.....	6
2.5. Nem szélcsatorna mérésekhez használt futószalagok sebességszabályozása.....	7
2.5.1. Futópaddock sebességszabályozása .....	7
2.5.2. Anyag és csomagszállításra használt futószalagok.....	8
<b>3. KÖVETELMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA, LEGÁLTALÁNOSABB FELHASZNÁLÁSI IGÉNYEKET IS KIELÉGÍTSEN.....</b>	<b>10</b>
3.1. A futószalag vezérlésének legáltalánosabb követelményei .....	10
3.2. Szabályozókörfelépítése .....	11
3.3. A szélsebesség mérése .....	13
3.4. A futószalag sebességének alakulása .....	15
3.4.1. Frekvenciaváltó: .....	17
3.4.2. Aszinkron motor:.....	17
3.4.3. Tengelykapcsoló:.....	20
3.4.4. Görgő-szík kapcsolat:.....	20
3.4.5. Szalag megnyúlása: .....	28
3.4.6. A sebességet módosító tényezők összesítése:.....	29
3.5. A sebességméréshez használható mérőeszközök összehasonlítása.....	30
3.5.1. Mozgó felület sebességét mérő szenzorok .....	30
3.5.2. Elfordulást mérő szenzorok .....	33
3.6. Egyéb, a működéshez nem szükséges, biztonságos működést elősegítő megoldások.....	35
<b>4. A VEZÉRLŐRENDSZER MŰKÖDÉSÉHEZ SZÜKSÉGES ESZKÖZÖK MEGHATÁROZÁSA .....</b>	<b>36</b>
4.1. A szélcsatorna sebességszabályozásához szükséges eszközök .....	36
4.1.1. Nyomástávadó.....	36
4.1.2. Hőmérő.....	37
4.1.3. Légnyomásmérő .....	37
4.1.4. Hajtáshoz szükséges vezérlőjel .....	37
4.2. A futószalag sebességszabályozásához szükséges eszközök .....	38
4.2.1. Frekvenciaváltó kommunikáció .....	38
4.2.2. Fordulatszám-mérő .....	39
4.2.3. Impulzusszámláló.....	40
4.2.4. A rendszerbe beilleszthető encoder és impulzusszámláló meghatározása: .....	41
4.3. Hibák előrejelzésére szolgáló és kiegészítő eszközök.....	44
4.4. A szabályozáshoz szükséges eszközök ki és bemeneti jellemzőinek összegzése.....	44
4.5. A meghatározott mérő és jelátalakító eszközök összeillesztése .....	45
4.6. Az eszközök közötti kapcsolat szemléltetése .....	47

---

<b>5. LABVIEW KÖRNYEZETBEN MEGTERVEZETT VEZÉRLŐRENDSZER BEMUTATÁSA .....</b>	<b>48</b>
<b>5.1. A program bemutatása.....</b>	<b>48</b>
5.1.1. Rendszer vezérlése - Főképernyő.....	48
5.1.2. Mért jelek: .....	50
5.1.3. Kalibráció: .....	51
5.1.4. Szabályozó szakasz: .....	53
5.1.5. Modbus vezérlés: .....	55
5.1.6. Vészleállító gomb: .....	55
5.1.7. Program tesztelése: .....	56
<b>6. ELVÉGZENDŐ MÉRÉSEK, KALIBRÁCIÓK ÉS TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK .....</b>	<b>57</b>
<b>6.1. Szélcsatorna kalibráció.....</b>	<b>57</b>
<b>6.2. Futószalag kalibrációja .....</b>	<b>57</b>
6.2.1. Stroboszkóp: .....	57
6.2.2. Nagy sebességű videokamera: .....	58
<b>6.3. A két rendszer együttes kalibrálása .....</b>	<b>58</b>
<b>IRODALOMJEGYZÉK .....</b>	<b>59</b>
<b>MELLÉKLET .....</b>	<b>60</b>







## 1. BEVEZETÉS

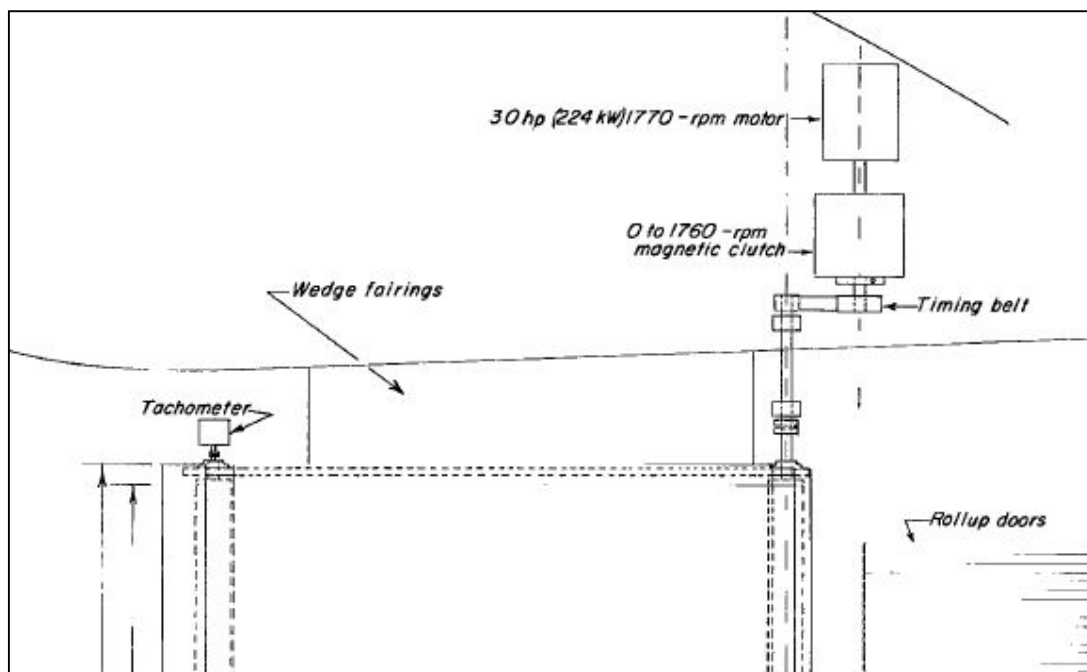
A mai modern járművekkel kapcsolatos áramlástan méréséhez egyre pontosabb mérési környezet kialakítására van szükség. Ennek az egyik lehetséges módja a járművekhez képest mozgó talaj szimulálása. A világban körbetekintve láthatjuk, hogy egyre több olyan szélcsatornát adnak át, amelyben ilyen mozgó felszín található, így lehetőség nyílik a mozgó járművek és a talaj közötti áramlási tér tulajdonságainak mérésére. Az autóiiparban egyre jobban előtérbe kerül a járművek üzemanyag fogyasztásának fontossága, mind környezeti-, mind pedig gazdasági szempontok miatt. A fogyasztás csökkentésének egyik módja jármű légellenástényezőjének csökkentése. Ennek egyik nagyon fontos meghatározó része a jármű és a föld közötti áramlásból eredő ellenállás. Az ezen tartomány áramlástan viselkedésének megértését segítő mérések új szempontokat szolgáltathatnak a jövőbeli tervezésekhez, ezzel is hozzájárulva a karosszériák folyamatos fejlődéséhez. A gépjárműipar élmezőnyét képező versenyautókat fejlesztő csapatoknál is egyre nagyobb igény van az ilyen jellegű mérésekre, és a kapott eredmények felhasználására a tervezésben. A földi közlekedésen kívül a repülőgépek föld közeli viselkedésének jobb megértéséhez is hozzájárulnak a különböző, mozgó talajt szimuláló szélcsatorna tesztek. A le- és felszálló gépeknél kritikus tényező, hogy megfelelő időben fel tudnak-e szállni illetve meg tudnak-e állni a kifutópálya vége előtt. Mozgó felszínt szimuláló szélcsatornák esetében lehetőség van a szárnyprofilok tesztelésére szembeszélben, hátszélben, különböző fékszárny-állásoknál a felszínhez közeli helyzetekben. A járműiparon kívül még érdekes felhasználási terület a sportolók, kiemelten a futók illetve egyéb gyorsasági sportot űzők esetében a talaj hatása a légellenállásukra. Ilyen jellegű mérésekkel a lábbeliket aerodinamikusabbra lehet tervezni, így nyerve értékes századmásodperceket egy-egy versenyen.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A nemzetközi szakirodalomban sok publikáció található a különböző szélcsatorna mérések eredményeiről, a szélcsatorna, és a mozgó talajt szimuláló futószalag mechanikus tulajdonságairól. Sajnos azonban a futószalag vezérléséhez kapcsolódóan ezekben az esetekben nem áll rendelkezésre hasonló mennyiségű publikus információ. Szerencsére a gépészmérnöki gyakorlatban a különböző futószalagokat használó technikák elterjedtek, ezért ezeknek a rendszereknek a szabályozására vonatkozó irodalmakból sokkal több lehető fel.

### 2.1. NASA

A mozgó talajt szimuláló mérések kezdete az 1950-es, 1960-as évekre nyúlik vissza. Azonban az első jól dokumentált eredményt és a szélcsatorna működési leírását a NASA egyik 1967-es kísérleténél találjuk. A repülőgépeknél a le- és felszálláskor használatos fékszárnyak hatásait vizsgálták. Ez a szárnynak az a hátsó része, amit mozgatni lehet ezzel állítva az állásszöget, így kis sebességnél is elegendő felhajtóerő tud keletkezni a gép felemeléséhez. Hátrány, hogy ilyenkor a megváltozott szárnyprofil ellenállása is nagyobb. A magasan mozgó gépek esetében a számított adatok jó egyezőséget mutattak a valóságban észlelt értékekkel, viszont a talaj közeli vizsgálatokra is szükség volt, mert ekkor megváltozik a szárny okozta felhajtó erő nagysága. A mozgó levegő az álló talaj közelében kisebb sebességű, vagyis a mozgó közeg határánál kialakul egy határréteg, és ebben a rétegben mások az aerodinamikai tulajdonságok, mint a talajtól távol. A szakemberek hamar rájöttek, hogy a talajhoz képest is mozgó szárnyprofilra ható erők nagyban függenek ettől a mozgási sebességtől. Így alakult ki az igény az első mozgó talajt szimuláló futószalag tervezésére.

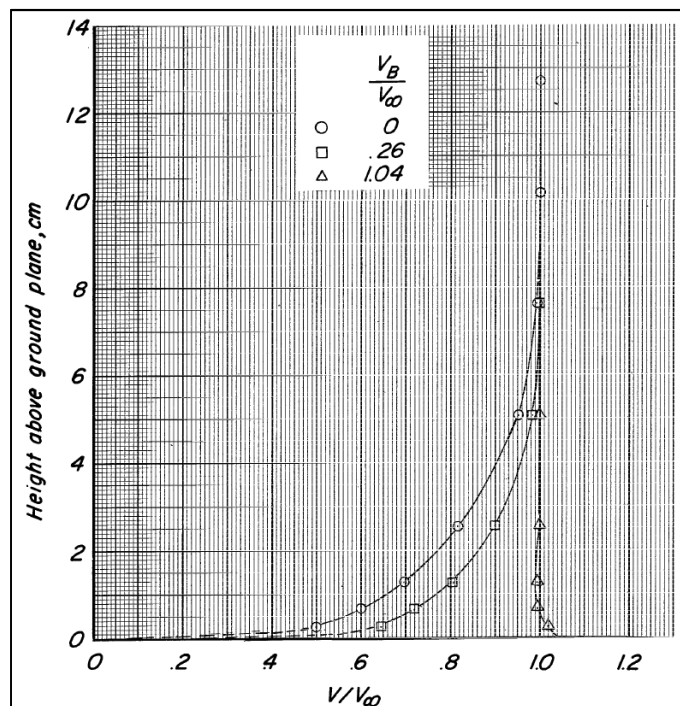


2.1. ábra NASA laboratórium futószalagjának hajtásrendszere [1]

A futószalag szélessége 3,66 m a hosszúsága pedig 3,05 m volt. Az alkalmazott szíj anyaga műanyaggal bevont szőtt gyapjú, hogy kellő rugalmasságú legyen és a levegő se tudjon rajta áthatolni. A szalag két görgő közé volt feszítve, és az egyik görgőn, valamint egy

vezérműszíjon keresztül egy 22,4 kW-os villanymotor hajtotta meg. A másik tengelyre szerelt tachométer segítségével tudták szabályozni a fordulatszámot, ezáltal a szalag sebességét, amit 0-30 m/s között lehetett állítani.

A szalag egy polírozott alumínium lapon futott, hogy így kerüljék el a görgők között a belógását. Ezen kívül a szerkezet elé terelőlapokat terveztek, hogy így csökkentsék a szerkezet beépítése által okozott sebességváltozást. A futószalaggal elvégzett elő tesztekben összehasonlították a különböző rétegekben a levegő sebességét, különböző futószalag-sebességek esetére. Az ábra magáért beszél. Nagyon jól láthatjuk a határréteg nagyságát álló talaj és lassan mozgó esetben, valamint hogy a szélesebbel azonosan mozgó szalag esetében ez szinte teljesen megszűnik.



2.2. ábra NASA laboratórium futószalag - Levegő sebességének vízszintes komponense a szalag fölött [1]

Tehát összességében elmondható, hogy egy viszonylag egyszerű szerkezettel sikerült nagyon jó eredményt elérni, így nagy pontossággal mérhetőek a talaj közelében mozgó járművekre ható erők.

A NASA laboratóriumi tesztje megadta az alapját az ilyen jellegű méréseknek, azóta viszont sok idő telt el és a szélcsatornák jelentős fejlődésen mentek keresztül. [1]

## 2.2. BMW

Az egyik, talán legmodernebbnek számító, nagy felszereltségű, és magas igényeket kielégítő aerodinamikai kutatóközpontját helyezte üzembe 2008-ban a müncheni cég. A világhírű és -színvonalú vállalat mindig is nagy pénzeket fektetett a termékei fejlesztésébe. Ez meg is látszik a forgalmazott autók mutatóin: a fogyasztási adatok és a káros anyag kibocsátás évről évre csökken, ami nagy részben az aerodinamikai fejlesztéseknek köszönhető. Az új központban két – mozgó talajt szimuláló futószalaggal ellátott – szélcsatorna található.



**2.3. ábra** BMW müncheni szélcsatornái kívülről [2]

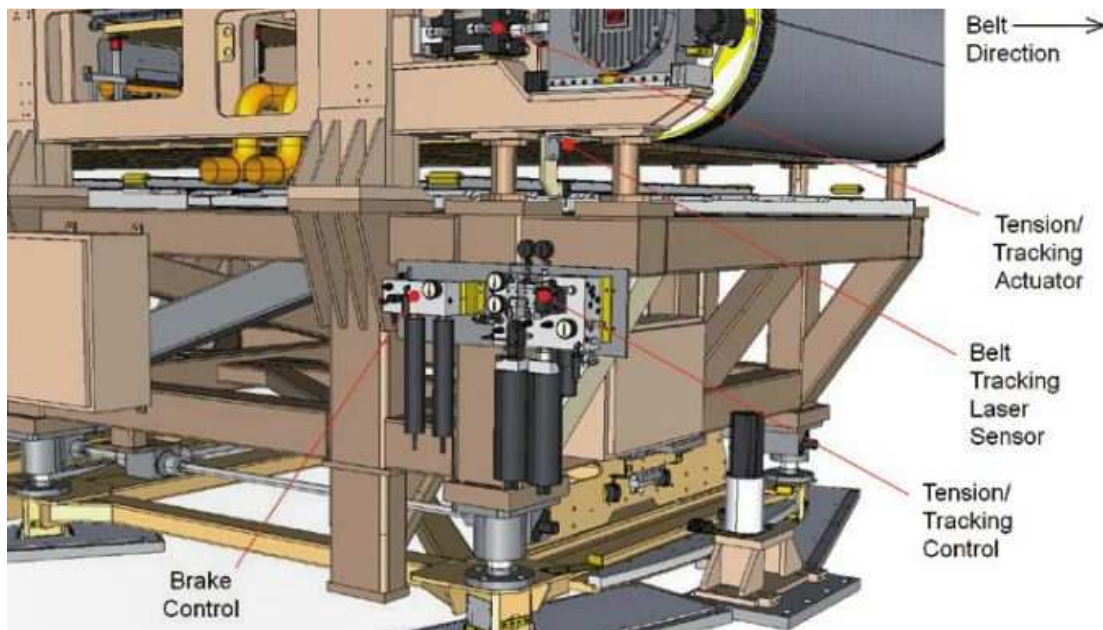
Az egyik szélcsatornában életnagyságú autók tesztelhetők. A szélcsatorna méretei hatalmasak; 16 m széles, 22 m hosszú és 13 m magas, a talaj mozgásának modellezése itt úgy van megoldva, hogy 4 db külön görgőn futnak a kerekek, és egy önálló – a teljes test alatt átfutó – hosszú futószalag helyezkedik el ezek között. Emiatt lehetőség van a különböző kerekekre ható erők vizsgálatára, valamint az egész modell vízszintes síkban forgatható ezzel vizsgálva az oldalirányú szellőkések hatásait.

A másik egy kisebb csatorna, amely méretarányos modellek vizsgálatára alkalmas, viszont itt többet is el lehet helyezni egymás közelében. Tehát ezzel mérhetővé válnak az előzés, vagy kis távolsággal történő követés esetén az aerodinamikai hatások. Itt a tanszéken lévő rendszerhez hasonlóan egy nagy futószalag helyezkedik el a szélcsatorna alján.



**2.4. ábra** BMW szélcsatorna, egyszalagos rendszer [4]

Mindkét szélcsatorna esetében rendkívül magas szintű értékek érhetőek el. 300 km/h szél és szalagsebességig végezhető mérések. A légsebességet  $\pm 0,03$  m/s pontossággal lehet tartani. A sebességvektor  $0,1^\circ$ -on belül ingadozik, a nyomásingadozás nagysága 0,6% és 1,6% közötti érték. Ezen kívül lehetőség van eső, hó, és erős napsütés szimulálására is. Elmondható tehát, hogy a rendszert kiemelkedően nagy pontossággal építették meg, valamint a legmodernebb szenzorokkal és vezérlőtechnikával látták el. A talajt szimuláló szalag rozsdamentes acélból készült, mert csak ez tud ellenállni a nagy sebességnél és szíjfrequenciánál létrejövő erőhatásoknak. A szalagot az egyik hengeren keresztül nagy pontosságú sebességvezérelt villanymotor hajtja meg, valamint sok másik érzékelő is felelős a pontos futásért és biztonságért. Lézeres egység figyeli a szalag pontos futását a hengeren, és a feszítőerő változtatásával folyamatosan, emberi beavatkozás nélkül állítja a feszítést a megfelelően pontos futás érdekében. [3],[4]



2.5. ábra BMW futószalag szabályozó rendszere [3]

### 2.3. HORIBA

A vállalat különböző autóiipari és szélcsatorna mérésekhez használható eszközökre szakosodott. A Wind Tunnel Balance egy szélcsatornába beszerelhető mozgó talajt szimuláló berendezés, bár helyigénye miatt a tervezésnél érdemes figyelembe venni a méreteit. A szerkezet a BMW valódi autók tesztelésére használt rendszeréhez hasonló, itt is 4 görgőn fut a négy kerék és az autó alatt létrejövő légáramlást a hosszanti irányban elhelyezett futószalag biztosítja. A környezetéhez 6 rúdon keresztül csatlakozik, amik erőmérő cellákkal vannak ellátva, így éri el a hihetetlenül pontos 1 N mérési felbontást miközben egy akár 15 tonna tömegű szerkezetet tart meg. A berendezés további előnye, hogy forgatható a függőleges tengely körül, ami az BMW szélcsatornájához hasonló módon lehetővé teszi az oldalirányú szél esetében létrejövő erőhatások mérését. Az autó a 4 keréknél tartva a beszerelt hidraulikus rendszer segítségével 1800 mm magassáig felemelhető, így gyorsan, mérések közben hozzá lehet férni a jármű aljához és cserélni lehet a különböző terelő elemeket. A polimer szíjat két, egyenként 250 kW-os szervohajtás mozgatja. Optikai szenzorok segítségével figyelik a szalag oldalirányú elhelyezkedését és



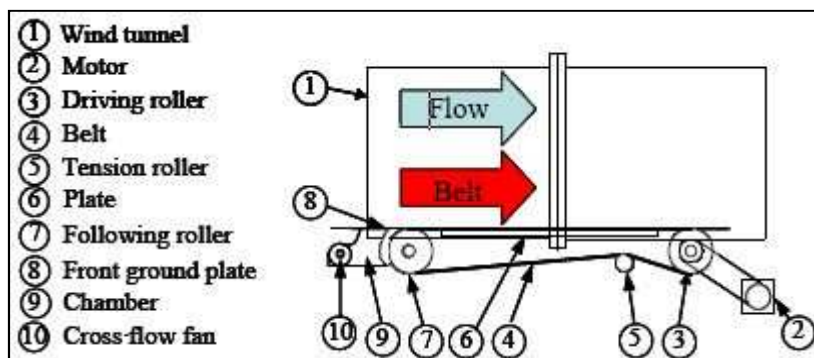
ennél a rendszernél is ez a pozíció, valamint a szalag előfeszítése automatikusan szabályozva van. [5]



2.6. ábra Horiba szélcsatorna - Felemelt autóval [5]

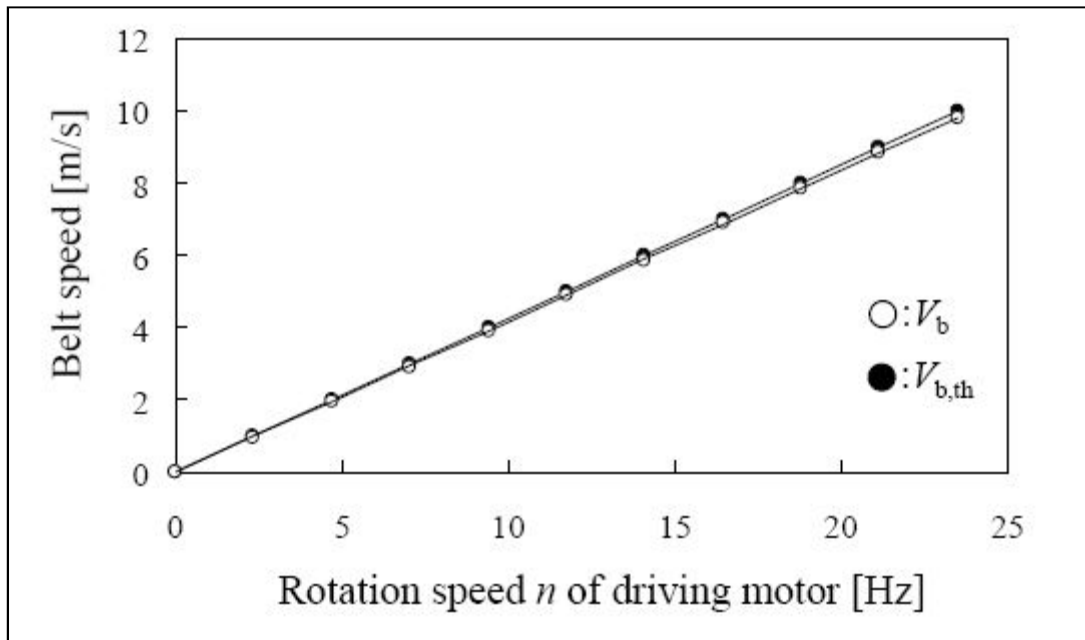
## 2.4. Hosszútávfutók légellenállásának meghatározása mozgó talajjal végrehajtott szélcsatorna kísérletekben.

A Kiotó-ban lévő Doshisha Egyetem munkatársai végeztek kísérleteket, hogy összehasonlítsák a sebesség- és turbulencia-viszonyokat egy egyszerű szélcsatornában, mégpedig úgy, hogy mozgó talajt szimuláló rendszer volt működésben. A méréshez egy 740 mm széles és 1153 mm hosszú szalagot használtak egy határréteg elszívó rendszerrel. A szalag egy ismeretlen teljesítményű motorral volt meghajtva egy vezérműszíjon keresztül.



2.7. ábra Doshisha Egyetem labor – Futószalag hajtás rendszer [6]

A szalag felületén semmit nem helyeztek el, ami a rendszert terhelte volna. (Például egy autó kerekei) Első mérésenként a szalag sebességének pontosságát mérték meg. A motor elméleti fordulatszámából és a hajtótengely sugarából kiszámítható a szalag elméleti sebessége. Ezután a mozgó szalag fölé helyezett nagy sebességű video kamerával meghatározható a valódi sebesség. Ezeket egy grafikonon összefoglalva a következők kapták.



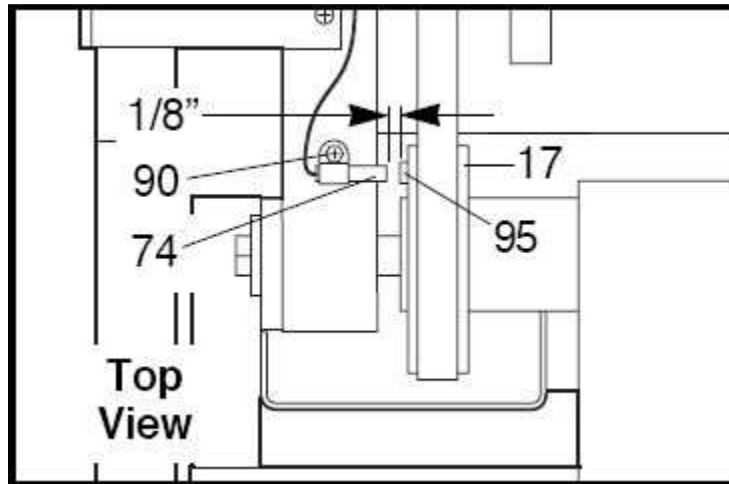
2.8. ábra Doshisha Egyetem labor - Számított és mért szalagsebesség összehasonlítása [6]

Látható, hogy a teli körrel jelzett elméleti sebesség mindig egy kicsit magasabb értéket mutat, mint az üres körrel jelzett, nagy sebességű kamerával mért sebesség, viszont az egyenes arányosság fennáll a fordulatszám és a sebességek között mindkét esetre. Az eltérés valószínűleg a hajtóhenger és a szíj között fellépő csúszás miatt jelentkezik. Az eltérés olyan kicsiny, hogy a további mérések alatt elhanyagolták a megcsúszást, és csak az elméleti sebességgel számoltak. [6]

## 2.5. Nem szélcsatorna mérésekhez használt futószalagok sebességszabályozása

### 2.5.1. Futópadok sebességszabályozása

Mára minden edzőteremben és sokaknál otthon is megtalálhatóak a különböző típusú futópadok. Bár vannak kisebb-nagyobb eltérések az elektronikus hajtású különböző gyártmányok között, de az alapvető rendszer megegyezik. Egy villamos motor hajtja meg a szalagot – általában egy vezérműszíjon keresztül - amelyet egy mellészerelt hajtással a kézmagasságunkba szerelt panelon keresztül tudunk irányítani. Egy optikai vagy mágneses szenzor segítségével mérik a hajtott tengely fordulatszámát, így a sebesség pillanatnyi értékét visszacsatolva szabályoz a rendszer. Fontos, hogy különböző terhelések esetén is a panelen beállított sebességgel menjen a szalag. Egy futópadnál a terhelés nagyban változhat használat közben attól függően, hogy üresen megy-e vagy valaki fut, esetleg a meredekség értékén állítottak, valamint egy állandó beállításokkal futó ember is a futás dinamikája miatt periodikusan változó terheléssel hat a szalagra. A körbefordulásonként általában 1,2 vagy 4 jelet adó sebességszenzor miatt túl magas sebesség-pontosság nem érhető el, viszont ez annyira nem is elvárás ebben az esetben. A beállítási pontosságot általában  $\pm 0,2$  km/h-ban határozzák meg a gyártók, a futás közbeni nagy ingadozások csökkenését biztosítja, hogy a nehéz terelőgörgők és a motor áttétele miatt nagy a rendszer tehetetlensége.



2.9. ábra Nordtrack futószalag fordulatszámérő egység - Magnetoszenzor (74), mágnes (95) [8]

Érdekesség még, hogy sokan azért választják a futópádon való edzést a valódi kültéri futással szemben, mert állandó és sima a terep, nem kell az időjárás viszonyaira számítani és a légellenállás hiánya miatt nagyobb teljesítmény érhető el, hiszen ilyenkor a levegőhöz képest nagyjából egy helyben állunk. Mérések azt mutatták, hogy a szabadban futva 8-14 km/h sebességgel 0-5% , míg 16 km/h esetén akár 10%-kal nagyobb energiabefektetésre van szükség. [7]

### 2.5.2. Anyag és csomagszállításra használt futószalagok

Talán a legnagyobb ipari felhasználása a futószalagoknak az anyag és csomagszállítás területén van. Előnyös, mert nem kell nagy teherjárművekkel szállítani az anyagot tehát sokkal jobb határfokkal, vagyis kisebb energiabefektetéssel lehet mozgatni. Így ez a bányáknál, erőműveknél igen gyakran alkalmazott technológia. Hátránya, hogy az elkészítés után már csak kis mértékben lehet változtatni az útvonalon, valamint hogy ha az egyik rész meghibásodik a szállítási láncban akkor az egész rendszernek meg kell állnia, és nem tud tovább üzemelni. Nagy távolságokon való szállításra sem alkalmas ez a technológia, bár a világ legnagyobb szállítószalag rendszere 98 km hosszú és Nyugat-Szaharában köt össze egy bányát egy kikötővel. Ezeknél a rendszereknél a tervezés egyik legfontosabb szempontja a teljesítmény; megfelelő mennyiségű nyersanyag szállítása, esetleg felvontatása rámpán, adott idő alatt. Erre a célra a görgők alá beépített erőmérőket, vagy az elhaladó nyersanyagot figyelő képfelismerő szoftverrel rendelkező kamerarendszert használják.[9]

Így az adott részen áthaladó anyag mennyiségének függvényében gyorsítani, illetve lassítani, esetleg teljesen megállítani tudják a szállítószalagot. A nagyon pontos sebesség beállítása nem cél, de lehetőség van ennek a mérésére is különböző odaérinthető görgős, illetve terelőgörgő forgását figyelő szenzorokra. Az ilyen jellegű alkalmazási területek sajátja, hogy a rendkívül magas szintű fizikai és kémiai hatásokkal szemben nagyon ellenállóknak kell lennie.

Az alkalmazásnak egy másik, elterjedőben lévő területe a csomagok szállítása és szortírozása. A modernebb repülőtereken és postai központokban ilyen rendszerek segítségével oldják meg ezeket a feladatokat. Ebben az esetben is kevésbé fontos a szalag sebességének tartása, sokkal lényegesebb a csomagok felismerése és a szállítószalagok megállítása, csomag irányválttatása adott esetben. Ma már egy nagyobb üzlet pénztára is elképzelhetetlen lenne futószalag nélkül. Ezekben az esetekben egy optikai kapu figyelő,



hogyan van-e áru a pénztárhoz közel. Amíg nincs, addig mozog a szalag, ha az áru odaér, akkor megállítja. Megfigyelhető, hogy itt nincs sebesség szabályozás és a gyorsítás lassítás is egy on/off szabályozóval történik, emiatt a függőlegesen állított karcsú üvegek fel is borulnak néha.



**2.10. ábra** Csomagszállításra használt futószalag [11]

---

### **3. KÖVETELMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA, LEGÁLTALÁNOSABB FELHASZNÁLÁSI IGÉNYEKET IS KIELÉGÍTSEN**

A megoldandó feladat a kettős természetével jellemezhető.

Egyfelől a tanszéken már megvalósított és működő eszközök rendszerébe kell beilleszteni az újat. Ez nagy kihívásokkal jár, mivel a különböző egységek tervezése között nagy az időbeli különbség, valamint a régebbi fejlesztések kitalálói nem lehettek felkészülve az újabb ötletre és megvalósításokra, ezért nem is vették számításba ezeknek a későbbiekben való bekerülését. Több, egyenként jól működő egység lehet, hogy teljesen más szempontrendszer alapján került megtervezésre és van használva, ebből adódóan ezeknek a külön-külön megfelelően működő berendezések összekapcsolása nehéz feladat. Az ilyen jellegű problémáknak viszont előnye, hogy mindig van honnan kiindulni, nem kell teljesen új és komplett megoldásokban gondolkozni, mindig csak hozzá kell tenni egy kicsit a már meglévőkhöz. Más esetben vagy régen használt elemeket, módszereket újra be lehet építeni és fel lehet használni az újragondolt nagyobb méretű rendszerhez.

Másfelől a megtervezendő új résznek minél szélesebb körben használhatónak és lehetőség szerint minél általánosabb feltételeket kielégítőnek kell lennie. Tehát több, már meglévő elemhez is problémamentesen illeszthető legyen, így nagyban növelve a megvalósítandó mérési lehetőségek számát. A rendszert már egymagában is úgy kell megtervezni, hogy az elképzelhető összes mérést el lehessen végezni vele. Ezen kívül arra is figyelmet kell fordítani, hogy ha a jövőben valamilyen változtatás illetve újítás történik, akkor a meglévő elemekkel és megvalósítással könnyen lehessen alkalmazkodni.

#### **3.1. A futószalag vezérlésének legáltalánosabb követelményei**

Jelen esetben a már megtervezett futószalag sebességét szabályozó rendszernek a következő követelményeknek kell megfelelnie:

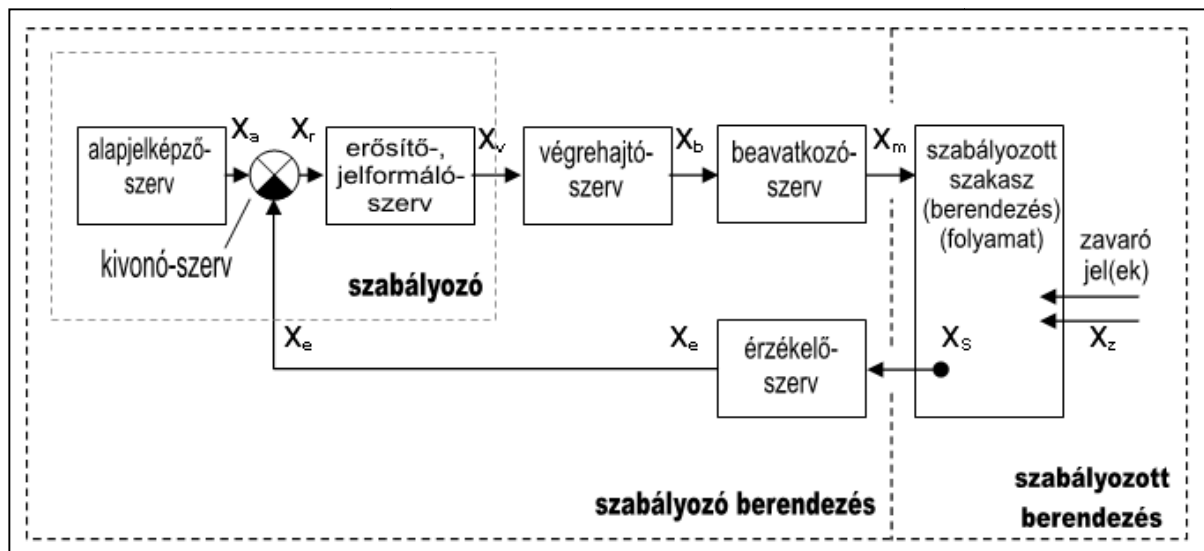
- Legfontosabb alapkövetelmény, hogy a beállított szalagsebességet nagy pontossággal a beállított értéken tudjuk tartani. Különböző egyéb tényezőktől függetlennek kell lennie, például: beállított sebesség nagysága, a szalag fölött áramló levegő sebessége, nyomása, sűrűsége, egyéb áramlástanai tulajdonságok, a szalagra helyezett mérendő modellek terhelő hatásai, a mérés időbeli hosszúsága, a rendszer életkora stb.
- A sebességtartás pontossága mellett a beállítás gyorsasága nem elsőrendű szempont. Egy-egy mérés szabályozástechnikai szempontból sok ideig tart és közben a beállított sebesség változtatására nem igen kerül sor. Tehát nem kell tudnia követni a hirtelen változásokat a rendszernek, mint például egy szerszámgép esetén, ahol folyamatosan változó pozíciókat kell elérni és ezt minél gyorsabban. Előfordulhat olyan mérés, ahol egy fékező autó vagy egy gyorsuló, felszállni készülő repülő modelljét vizsgáljuk. Ilyen esetben a gyorsulások maximális értékét inkább az áramló levegő tehetetlensége, mintsem a szalagé határozza meg.
- A tanszék NPL szélcsatornájához tervezett futószalag rendszer ki és beszerelhető legyen a mérőberendezésből, mivel sok méréshez erre nincs szükség, és a hallgatói méréseknél is csak útban lenne. Tehát igény esetén gyorsan össze- és szétszerelhető legyen a két rendszer.
- Másik szempont, hogy különböző mérőterű és vezérlésű szélcsatornába is beilleszthető legyen, hogy ott is méréseket lehessen végezni. Ehhez feltétel, hogy a szalag megfelelő

működéséhez szükséges minden elem azzal együtt legyen mozgatható és leválasztható. Ne legyen az irányító rendszer semelyik része fizikailag a szélcsatornához kapcsolva, hanem a szalaghoz.

- Bár nem tartozik szervesen a futószalag vezérléséhez, mégis nagymértékben kapcsolódik hozzá a szélcsatorna vezérlésének korszerűsítése. A jelenlegi konstrukcióban egy potenciométer segítségével lehet állítani a ventilátor hajtásának bemenőjelét. Sajnos ennek az állítási pontossága elég alacsony és emiatt nem tudunk akármeckora tetszőleges sebességértéket beállítani. Ezen körülmények mellett főlegesen lenne nagy pontosságú szalagvezérlést tervezni. Tehát a hajtás bemenetének digitális felületen történő beállíthatósága nagyban javíthatna a teljes konstrukció működésén.
- Olyan szoftveres felület kidolgozása a cél, amelyben a felhasználónak lehetősége van többféle módszerrel szabályozni a futószalag sebességét.
  - Szél és szalag sebességének egyidejű állítása és szabályozása  
Valószínűleg ennek az alkalmazási gyakorisága lesz a legmagasabb
  - Szalagsebesség hozzáigazítása a szélcsatornában mért szélesebességhez  
Ha egy másik szélcsatornába helyezve a berendezést nem kapcsolható össze a rendszer a csatorna ventilátorának vezérlésével, akkor az ott mért levegősebességhez viszonyítva kell beállítani a szalagsebességet. Itt is megegyező sebességgel mozog a talaj és a levegő
  - Szél és szalag sebességértékeinek egymástól független állítása  
Bonyolultabb mérésekhez szükség lehet az eltérő sebesség beállítására. Pl: repülőgép leszállása, vagy egy autó haladása szembeszélben.
- Lehetőség legyen a mért jelek kalibrációjára a kezelőfelületen a szoftver segítségével. A folyamatosan használt, de kevésbé pontos mérőberendezéseket és módszereket kalibrálni lehessen egy nagy pontosságú mérőeszközhöz. Ezek a kalibrációs görbék esetleg elmenthetőek és újra megnyithatóak legyenek. Mivel a különböző szélcsatornák különböző mérőműszerei más és más hibával dolgoznak, erre nagy szükség van.
- A mérőtérbe nem lóghat be semmi, a futószalaghoz tartozó rész, mert az megzavarja az áramlást. Tehát úgy kell megtervezni a mérő, beavatkozó és feldolgozó egységeket, hogy azok a mérőtéren kívül helyezkedjenek el.
- A futószalag összeszerelése után az első tesztek alatt kiderült, hogy nagyobb sebességek illetve fordulatszámok felé haladva a rendszer kezd instabilan működni. A szalag oldalirányban elkezdett lecsúszni a hengerekről. valamint különböző rezgéstani problémák is felléptek. Ezt azóta sikerült a hengerek centrálásával megoldani, de a feszítőgörgő két oldalról még mindig manuálisan állítható, így meg van a veszélye, hogy a jövőben a már beépített szalagnál ezek a problémák újra előjönnek, ezért érdemes lenne olyan biztonsági elemeket beépíteni, amik figyelnek a szalag pontos futását.

### 3.2. Szabályozókör felépítése

A felsorolt feltételekből, valamint az felkutatott kapcsolódó irodalom példáin látszik, hogy egy egyszerű vezérléssel nem lehetne megoldani a problémát. A rendszert túl sok és bonyolult hatás éri, melyek ellenére is pontosan kell tartani a kívánt értéket, ezért szükséges egy sebesség visszacsatolásos szabályozókör tervezése.



3.1. ábra Általános szabályozókör felépítése

Az ábra egyes elemeinek meghatározása futószalag rendszerre:

- Ebben az esetben a szabályozott szakasz a futószalag, a hengerekkel együtt. A szalag anyaga miatt rugalmassága van, a hengerek miatt tehetetlensége és a csapágy, valamint a futófelület miatt csillapítása. A szabályozni kívánt jellemző a sebesség.
- Azt szeretnénk elérni, hogy a futószalag tényleges sebessége az előre beállított  $X_a$  értéket minél gyorsabban vegye fel a rendszerre ható zavarójelek esetén is.
- A beavatkozó szerv a meghajtó tengelyhez mechanikusan csatlakoztatott aszinkron motor, ennek bemeneti jele: feszültség- illetve frekvenciajel.
- A végrehajtó szerv a frekvenciaváltó, melynek kimenete csatlakozik a motorhoz és a bemenetére csatlakozik a szabályozóból - jelen esetben valószínűleg egy számítógépből – érkező szabályozó jel.
- Az érzékelő szerv a visszacsatoló ágban helyezkedik el. Ez egy szenzorból áll, ami méri a szalag sebességét, valamint egy jelátalakítóból, ami a mért értéket átalakítja a szabályozó egység számára feldolgozható mennyiséggé.

A szélcsatorna szabályozó rendszeréhez nagyon hasonlóan lehet meghatározni a működéshez szükséges elemeket.

- A szabályozott szakasz a szélcsatornában lévő levegő és a ventilátor alkotta rendszer. A szalaghoz hasonlóan ennek is van tehetetlensége, rugalmassága és csillapítása.
- A szabályozandó érték - hasonlóképpen - a sebesség.
- Ennek a változtatását a beszerelt villanymotor fordulatszám-szabályozásával lehet elérni
- A hajtás biztosítja a beérkező vezérlőjel értékének átalakítását megfelelő teljesítményre és frekvenciára a motor számára.
- A visszacsatoló ágban lévő mérőegység többféle kialakítású lehet. A leginkább alkalmazott gyakorlat: a dinamikus és statikus nyomás különbségéből kiszámolni a szélesebbéget.

A következőkben a fenti részegységeken haladunk végig, pontosabban kifejtve az adott elemhez tartozó elvárásokat.

### 3.3. A szélesség mérése

A mozgó levegőtömeg sebességének mérésével történő meghatározására nagyon sokféle lehetőség létezik. Ennek egyik csoportja a nyomásmérésre visszavezetett meghatározási módszer. A Bernoulli-egyenlet szerint az áramlásban (ha az erőter potenciáljának változásától eltekintünk, sűrűségmentes és stacioner esetben, összenyomhatatlan közeg esetén):

$$p + \frac{\rho}{2}v^2 = \text{áll.} \quad (3.1)$$

Az egyenlet első tagját statikus nyomásnak, a másodikat dinamikus nyomásnak nevezzük, a kettő összegét pedig össznyomásnak. Átrendezve az egyenletet:

$$p_{\text{dinamikus}} = p_{\text{össz}} - p_{\text{stat}} = \frac{\rho}{2}v^2 \quad (3.2)$$

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_{\text{össz}} - p_{\text{stat}})} \quad (3.3)$$

Tehát az áramló közeg sűrűségének és az össznyomásnak, valamint a statikus nyomásnak az ismeretében kiszámolható az áramló közeg sebessége. A sűrűség számolása az ideális gázra vonatkozó törvények alapján:

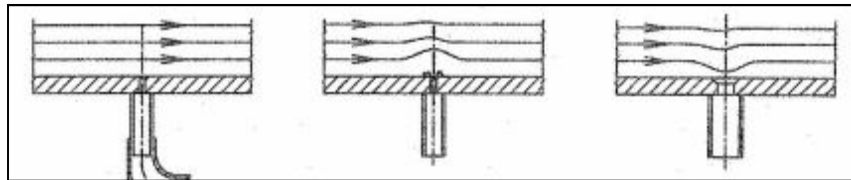
$$\rho = \frac{p_0}{RT} \quad (3.4)$$

$p_0$  a laboratóriumban uralkodó abszolút nyomás értéke, az ott elhelyezett műszerről leolvasható. Ebben az esetben ez jó közelítéssel megegyezik az előző képletben használt  $p_{\text{össz}}$  értékével, mert úgy tekintjük, hogy a szabadba történik a szélcsatornából a kiáramlás, így az össznyomás megegyezik a környezeti nyomással.  $R$  a specifikus gázállandó:

$$R = 287 \frac{J}{kg \cdot K} \quad (3.5)$$

$T$  pedig az áramló levegő hőmérséklete, ez szintén nagyon jó közelítéssel megegyezik a laborban uralkodó hőmérséklettel, melynek értéke leolvasható az elhelyezett digitális hőmérőről, illetve számítógépes kommunikációval be is olvasható a vezérlő szoftverbe.

A  $p_{\text{össz}}-p_{\text{stat}}$  meghatározásának egyik lehetséges módszere, hogy statikus nyomásmegcsapolásokat helyezünk el az áramló közeg falain és a légköri nyomástól való eltérést megmérjük. Ügyelni kell, hogy a nyomásmegcsapolások minél kisebb mértékben zavarják meg az áramlást.



3.2. ábra Nyomásmegcsapolások hatása a légáramra[13]

A képen látható második és harmadik megoldás túlzottan megzavarja az áramlást és emiatt téves, az Euler-egyenlet normális komponens egyenletével módosult nyomásértéket kapunk. Az Euler-egyenlet:

$$\rho \frac{v^2}{R} = \frac{\partial p}{\partial n} \quad (3.6)$$

Tehát az áramvonal görbületi sugarának csökkenésével növekszik a nyomásgradiens. A falnál kialakuló lassabb sebességű határreteg miatt is csökken a mérés pontossága. Ezért érdemes a megcsapolások környezetében hidrodinamikai szempontból minél simább felületet választani. Jelenleg ezt a megoldást alkalmazzák az NPL szélcsatorna sebességének meghatározásához. A nyomáskülönbség mérésének egyéb eszközei lehetnek a Prandtl illetve Pitot csövek, ezeket az áramlás belső részeibe helyezve jobban kivezethetőek a nyomásértékek, viszont jobban megzavarják az utánuk lévő áramlást.

A kivezetett nyomáskülönbség számszerű értékének meghatározására egy elektromos nyomástávadót használnak. Ezek a nyomáskülönbséget analóg elektromos jelekké alakítják át. A tanszéken található különböző mérőberendezések pontossága  $\pm 0,2$  és  $\pm 5$  Pa között van a mérési határ függvényében.

Ezeknél a nyomásmérésre visszavezetett számításoknál sokkal pontosabb mérési eredményeket kaphatunk más eljárásokkal, bár ezeknek a beszerzési értéke is nagyságrendekkel magasabb. Ilyenek a lézer doppler anemométer valamint a PIV rendszerek, ezek az áramlásba juttatott részecskék tényleges sebességét mérik lézervfény segítségével.

Gyakran alkalmazott mérési módszer, hogy beépített nyomásmegcsapolással vagy Prandtl-csővel mérik a sebességet a folyamatos használat közben és bizonyos időközönként újralibrálják a mérést a pontosabb lézeres mérőeszközök segítségével.

A statikus nyomásmegcsapolással történő nyomásmérés abszolút hibáját a következőképpen számíthatjuk. Az előzőek alapján a levegő sebessége:

$$v_{\text{levegő}} = \sqrt{\frac{2}{\rho_0} (p_{\text{össz}} - p_{\text{stat}})} = \sqrt{\frac{2RT}{\rho_0} \Delta p} \quad (3.7)$$

Az abszolút hiba a következőképpen számítható:

$$\delta v_{\text{levegő}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \delta X_i \cdot \frac{\partial v_{\text{levegő}}}{\partial X_i} \right)^2} \quad (3.8)$$

Ahol  $X_i$  a különböző mennyiségek, ebben az esetben a barometrikus nyomás ( $p_0$ ), a hőmérséklet ( $T$ ) és a nyomásesés ( $\Delta p$ ). A laborban használt mérőeszközökkel ezen mért értékek hibája ( $\delta X_i$ ) a következőképpen alakul:

$$\delta p_0 = 100 \text{ Pa} \quad (3.8a)$$

$$\delta T = 0,1 \text{ K} \quad (3.8b)$$

$$\delta \Delta p = 0,2; 0,7; 5 \text{ Pa} \text{ mérőműszertől függően} \quad (3.8c)$$

Feltételezzük, hogy egy átlagos mérésnél a következő adatokat mérjük:

$$p_0 = 100 \text{ Pa} \quad (3.8d)$$

$$T = 295 \text{ K} \quad (3.8e)$$

A mérni kívánt sebességtartomány pedig:

$$v_{\text{levegő}} = 0 \dots 15 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (3.9)$$

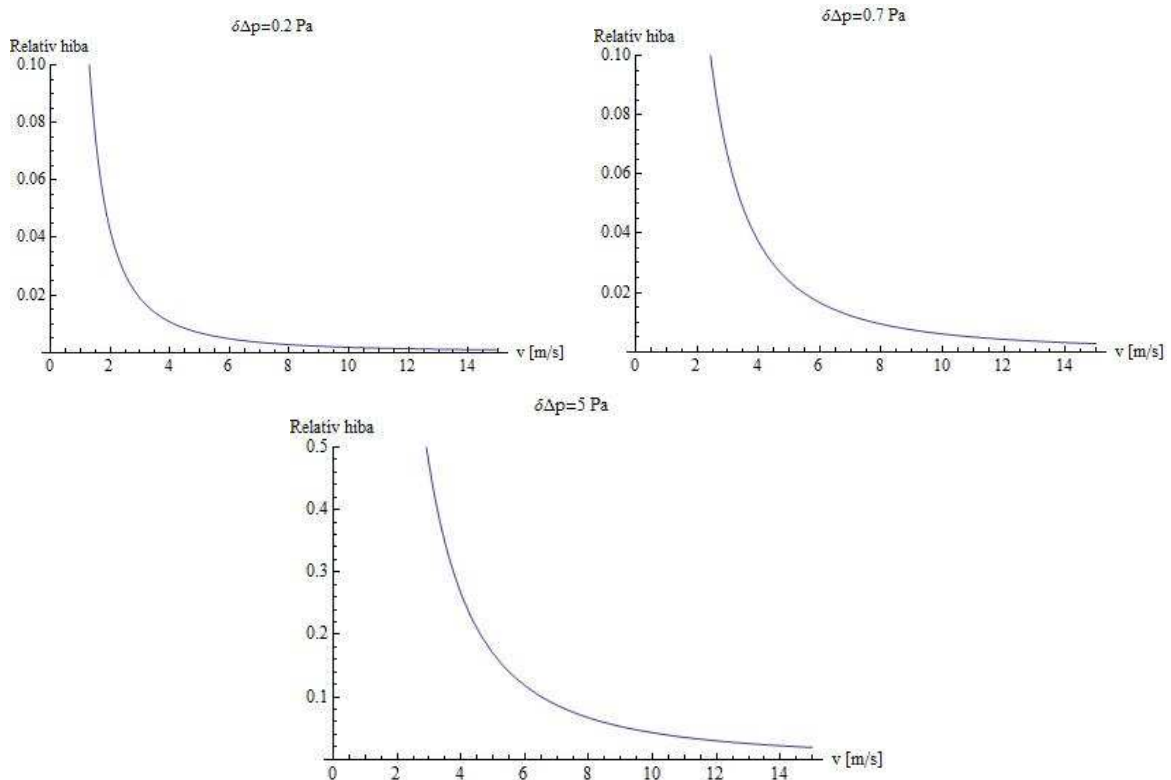
A relatív hiba az abszolút hiba és a mért érték hányadosaként számolható:

$$\delta v_{\text{levegő,relatív}} = \frac{\delta v_{\text{levegő}}}{v_{\text{levegő}}} \quad (3.10)$$

Ez a fenti adatok és feltételezések segítségével számítógépes matematikai szoftverrel könnyen számolható:

$$\delta v_{\text{levegő,relatív}} = \sqrt{2.80234 \cdot 10^{-7} + \frac{0.721137 \delta \Delta p^2}{v^4}} \quad (3.11)$$

Az eredményeket grafikonon ábrázolhatjuk:



3.3. ábra Relatív hiba mértéke különböző mérési pontosságok esetén

Látható, hogy kis sebességeknél nagyon nagy hibával lehet mérni, még a legpontosabb műszerrel is. Nagyobb sebességtartományokban már sokkal jobb mérési eredményeket kaphatunk. Ennek az oka, hogy a mérendő nyomáskülönbség alacsony sebességeknél közel esik a műszer felbontásához. Ehhez még hozzáadódik a statikus nyomásmegcsapolás kialakításából eredő hiba. Ennek tudatában kell nekilátni a futószalag szabályozási körének tervezéséhez. A fenti mérés egy támpontot ad, hogy a már meglévő berendezéseknél mekkora a mérési pontosság, és ennek kell megfelelnie az új rendszernek is. Bár ismét megjegyzendő, hogy léteznek ennél pontosabb sebességmérési eljárások is, tehát érdemes azért úgy tervezni, hogy ilyen esetben is megállja a helyét a futószalag szabályozása a rendszerben.[12] [13]

### 3.4. A futószalag sebességének alakulása

Az előbbieken láthattuk, hogy a szélesebb sebesség mérésének mik a módszerei, illetve ezek milyen pontossági tartományban mozognak, így kaphattunk egy képet arról, hogy milyen rendszerbe kell beilleszteni az újonnan tervezendő berendezést. A következőkben meg kell vizsgálni, hogy a mérési térben elhelyezkedő, az áramló levegővel kapcsolatban lévő

---

mozgó futószalag-rész sebessége mitől is függ. Ezen tényezők és hatásuk nagyságának megismerése előfeltétele annak, hogy meghatározhassuk a szabályozáshoz, ezen belül is a sebességméréshez kapcsolódó technikát.

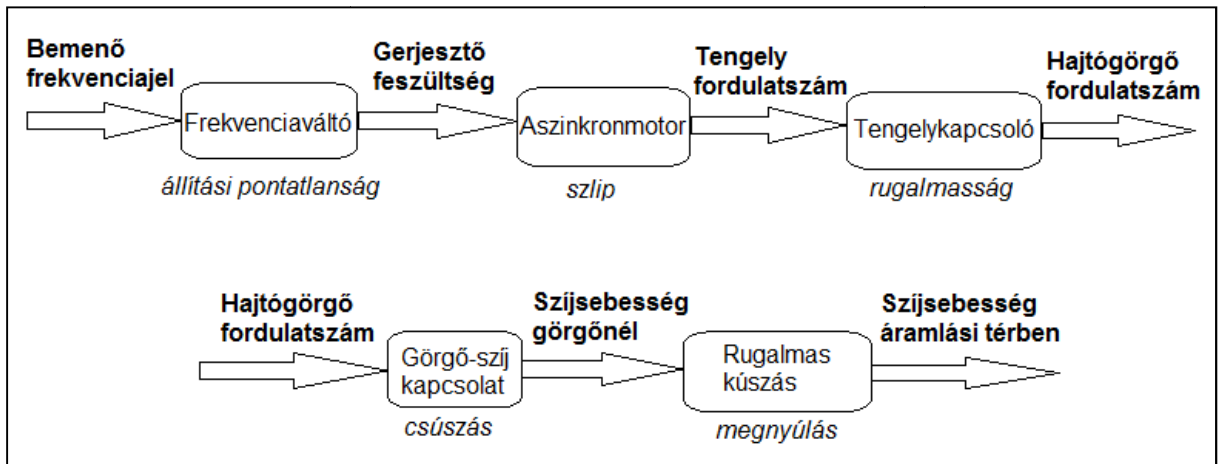
Nagyon egyszerű lenne a probléma, ha a frekvenciaváltó bemenetén beállított értékre azonnal és pontosan beállna a szalag áramlásban lévő részének sebessége. A valóságban azonban nem így van, a kettő között sok különböző fizikai tulajdonságú mozgást befolyásoló rész helyezkedik el. A már megépített és működő futószalag hajtásrendszerén végighaladva számszerű értékeket kaphatunk. Ezeknek a kiszámításához szükség lesz a tervezéskor alkalmazott néhány formulára, valamint a beszerelt elemek gyártók által közzétett katalógusaiban szereplő adatokra. Vegyük sorba ezeket a részeket valamint hatásuk nagyságát, így eldönthető melyik lényeges, és melyik hanyagolható el a tervezés későbbi szakaszaiban.

- Feltételezve, hogy egy állandó értéket állítunk be a frekvenciaváltó bemenetén, a kimenetén egy állandó nagyságú frekvenciájú és feszültségű jelnek kellene megjeleníteni. Azonban a valóságban ez magától is ingadozhat egy kicsit, valamint ha gyorsan változik a hajtott motorra ható nyomaték értéke, az visszahat a frekvenciaváltóra is.
- A beépített aszinkron motor esetében is, már ahogy a neve is utal rá a rácsatlakoztatott tápellátás frekvenciája és a forgó tengely fordulatszámja nincsenek szinkronban. A tengely mindig le van maradva, tehát lassabban forog a gerjesztő frekvencia által létrehozott forgó erőtérhez képest. Ezt szlip-nek nevezzük. Az értéke többek között függ a rákapcsolt frekvenciától és feszültségtől, a motorra ható nyomatéktól illetve a motor forgó tekercseinek ellenállásától. Előre sejthető, hogy az itt megjelenő frekvenciakülönbség jóval nagyobb értéket vesz fel mint a többi rész esetében.
- A motor tengelye egy rugalmas tengelykapcsolóval van hozzárögzítve a meghajtó tengelyhez. Tehát pillanatnyi eltérések és rezgés lehet a két forgó rész között, azonban az átlagsebességük, illetve stacioner állapotban a forgási sebességük megegyezik.
- A meghajtó görgő kapcsolódik a szíjhoz, melynek meghajtásához a nyomatékot a súrlódási erő viszi át. Tehát a két elem közötti megcsúszás valószínűsége jelentős, így a szalag a hengerhez képest fordulatszámában lemaradva fog mozogni. Ez csúszás a súrlódási erő nagyságától valamint az futószalagra ható mozgást akadályozó erőktől és nyomatékoktól függ. A súrlódási erő nagyságát meghatározza a súrlódási együttható, ami a fém-polimer kapcsolatra jellemző katalógusból megtudható szám, illetve a nyomóerő, ami a szalag előfeszítésétől függ.
- A szalag különböző részei között is felmerülhet sebességkülönbség, tehát a szalag meghajtó görgőhöz közeli és az áramlási térben lévő részének a sebessége nem feltétlenül azonos. Ez úgy lehetséges, hogy mint a biciklinél is láthatjuk, a meghajtó láncnak van feszes és laza ága. Mivel a gumiszalag esetében egy rugalmas anyagról beszélünk, a feszes ágban jobban megnyúlik, mint a lazában, emiatt ugyanannyi idő alatt egy adott pontnak nagyobb távolságot kell megtennie a megnyúlt ágban, mint a lazában, így nagyobb lesz a sebessége is. Ennek a jelenségnek inkább akkor van jelentősége, ha a szalaggal nagy nyomatékot akarunk átvinni egyik tengelyről a másikra. Ebben az esetben csak a levegő valamint a csapágyak ellenállását kell legyőzni, tehát ez nem annyira jelentős.

Az utóbbi két eset egymással ellentétesen működő folyamat, mert ha nagy nyomaték átvitelénél nem feszítjük meg eléggé a szíjat akkor csúszni fog, viszont nem annyira nyúlik meg. Ha pedig nagyon megfeszítjük, akkor a létrejövő nagyobb súrlódás miatt nem csúszik meg a hajtógörgőn a szalag, viszont a görgők között nagy lesz a megnyúlása.

A fenti pontokba szedett jelenségeket a következőképpen ábrázolhatjuk:





3.4. ábra Szalag sebességének alakulása

A fent leírt sebességet módosító tényezők becsülhetők illetve számolhatóak.

#### 3.4.1. Frekvenciaváltó:

A beépített frekvenciaváltó (Scneider-Electric Altivar 12) egy kis és közepes teljesítményű aszinkron motorok meghajtására használható berendezés. A kimeneti frekvencia egy kézi potenciométerrel is beállítható, valamint analóg bemenete is van. Ezek mellett nagyon sok beállítási lehetőséget tartalmazó menürendszere van. A külvilággal való kommunikációt a kézi nyomógombos vezérlésen kívül modbus protocol teszi lehetővé. Ez egy ipari környezetben működő egyszerűbb vezérlőegységek, plc-k adatcseréjére és vezérlésére kifejlesztett kommunikációs mód. A frekvenciaváltó egy RJ45-ös csatlakozóval van ellátva, ezen a fizikai felületen keresztül lehet vele kommunikálni. Léteznek ennél modernebb és kifinomultabb, valamint a számítógépes hálózatba jobban beilleszthető protokollok, viszont egyszerűbb írási és olvasási feladatok megvalósítására ez tökéletesen megfelel. Ennek köszönhetően a frekvenciaváltó egy PC-ről valós időben digitálisan vezérelhető. Labview-hoz van olyan kiegészítő szoftvercsomag aminek a segítségével Labview felületről lehet modbus protocolon keresztül a különböző regisztereket kiolvasni, valamint beállítani, módosítani.

A frekvenciaváltók katalógusaiban a működésükről nagyon sokféle adat megtudható. Általános esetben a megadott frekvencia vezérlési pontosság a maximális megadható frekvencia százalékában van megadva. Értéke analóg vezérlés esetén:  $\pm 0,2\%$  digitális esetben pedig:  $\pm 0,01\%$ . Sok más megfontolás mellett itt is látszik, hogy érdemes a frekvenciaváltó digitális vezérlését megvalósítani. A beszerelt Altivar 12 esetében az állítható frekvenciatartomány: 0,5...400 Hz. Tehát digitális vezérlés esetén a vezérlési pontosság:

$$\pm 0,01\% \cdot 400 \text{ Hz} = \pm 0,04 \text{ Hz} \quad (3.12)$$

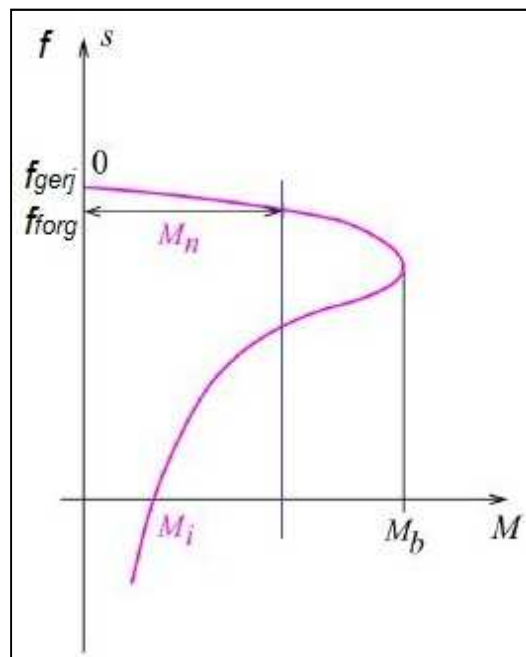
#### 3.4.2. Aszinkron motor:

Előre sejthető, hogy az előbb bemutatott láncból ennek a tagnak lesz a legnagyobb hatása a fordulatszám változására. Az aszinkron motorok általános jellemzője, hogy a bemeneti feszültség frekvenciájához képest mindig kisebb frekvenciával forog a motor tengelye. A szakirodalom szerint ezen érték 4-6% körül mozog névleges fordulatszámon. Az ilyen gépek belsejében, az állórészben elektromos tekercsek helyezkednek el ezekre van rákötve

a gépre kapcsolt általában 3 fázisú feszültségforrás. A forgórész is elektromos tekercsekből áll, amelyekben az állórész tekercseiben kialakuló mágneses erővonalak hatására feszültség indukálódik. Ez a tekercsekben áramot hoz létre, aminek hatására a forgó rész tekercseiben is mágneses erőtér alakul ki. A két kialakuló mágneses erőtér egymásra hatása alakítja ki a nyomatékot. Teljesen terheletlen állapotban megegyezne ez a két forgási sebesség, a terhelés növekedésével viszont ez egyre növekszik. Definíció szerint a szlip:

$$s = \frac{f_{gerj} - f_{forg}}{f_{gerj}} \quad (3.13)$$

Tehát a névleges nyomaték közelében a nyomaték növelésével állandó gerjesztő frekvencia esetén a forgási sebesség egyre kisebb, a szlip pedig egyre nagyobb lesz. Ismert az általános aszinkron motorok nyomaték-fordulatszám görbéje:

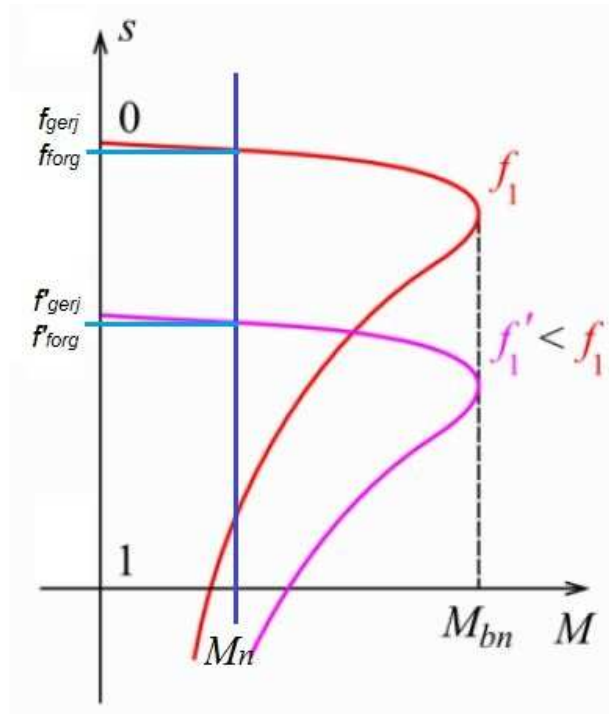


3.5. ábra Aszinkron motor nyomaték - fordulatszám görbe [14]

A fenti görbe minden egyes motornak a fizikai tulajdonságaiból származtatható. Ebből leolvasható, hogy adott nyomatékhoz mekkora fordulatszám tartozik. Egy ilyen görbe egy motor esetében adott nagyságú és frekvenciájú feszültséghez tartozik. Ezeknek az értékeknek a változtatásával a következőképpen alakul a nyomaték-fordulatszám görbe. A korszerű hajtásoknál a legelterjedtebb megoldás a fordulatszám vezérlésre az, hogy a motor gerjesztő feszültségének frekvencia és amplitúdó értékét egyszerre állítják, mégpedig úgy, hogy az arány állandó maradjon.

$$\frac{U_{gerj}}{f_{gerj}} = \text{áll.} \quad (3.14)$$

Ilyen gerjesztés esetén a főmező tekercs fluxusa, valamint adott nyomaték esetében a forgórész relatív fordulatszám ( $f_{gerj} - f_{forg}$ ) is állandó marad. Ennek eredményeképpen az arányos vezérléssel hajtott motor jelleggörbéje párhuzamos eltolással kapható meg:



**3.6. ábra** Aszinkron motor nyomaték - fordulatszám görbéjének változása a gerjesztőfeszültség változtatásának hatására [14]

Ebből viszont az következik, hogy azonos nyomatéknál kisebb fordulatszám esetén –  $(f_{gerj} - f_{forg})$  állandó marad, –  $f_{gerj}$  csökken. Tehát a szlip, képletéből adódóan növekedni fog. [14]

A beszerelt motor katalógusból vett adatai:

Adat:	Érték:	Mértékegység:
típus:	Lammers 9AA 80 M-02k három fázisú villanymotor	-
névleges fordulatszám:	2900	$\text{min}^{-1}$
teljesítmény:	0,75	kW
névleges nyomaték:	2,5	Nm
fordulatszám névleges nyomatékon, 50 Hz-es gerjesztés esetén:	2870	$\text{min}^{-1}$

**3.1. táblázat** Aszinkron motor katalógus adatai

Ebből meghatározható a szlip:

$$f_{gerj} = 50 \text{ Hz} = 3000 \frac{1}{\text{min}} \quad (3.15)$$

$$f_{forg} = 2870 \frac{1}{\text{min}} \quad (3.16)$$

$$s = \frac{f_{gerj} - f_{forg}}{f_{gerj}} = \frac{3000 - 2870}{3000} \approx 0,0433 = 4,33\% \quad (3.17)$$

Ez beleesik a szakirodalom által nagy általánosságban meghatározott tartományba. Mivel ez az érték a névleges fordulatszám ( $2900 \text{ min}^{-1}$ ) esetén érvényes, használat közben pedig ennél alacsonyabb fordulatszámon fog üzemelni a gép, az előbb tárgyaltak miatt ennél nagyobb értéket fog felvenni a szlip, tehát ott jobban le fog maradni a tengely a gerjesztő feszültség frekvenciájához képest.

### 3.4.3. Tengelykapcsoló:

Ezzel a résszel kapcsolatban nincs szükség számításra és el is hanyagolható, mivel a vezérléssel kapcsolatos elvárások között nem szerepel, hogy a rendszer dinamikusan tudjon válaszolni gyorsan változó jelekre. Csak az az elvárás, hogy a beállított sebességértéket pontosan vegye fel és tartsa azt. Gyors indítás vagy megállítást esetén nyilván van némi hatása a tengelykapcsoló rugalmasságának a sebességre, de nyugodt járás közben ez gyorsan lecsillapodik.

### 3.4.4. Görgő-szíj kapcsolat:

A két elem között a terhelés átadásáért a súrlódási erő a felelős. Ezt az erőt alapvetően meghatározza a két elemet egymáshoz szorító erő, a két anyag súrlódási együtthatója és még néhány a kapcsolatot jellemző tényező. Tehát ennek a nagyságától függ, hogy a frogó mozgás hogyan alakul át a szalag egyenes vonalú mozgásává, együtt marad-e a két test, vagy csúszás lép fel a kapcsolat közben. A számítások során feltételezzük, hogy a szíj anyaga homogén, lineárisan rugalmas. A megadott súrlódási tényező pontos és mindenhol állandó nagyságú, valamint a hajtógörgő csapágyazása merev. [15]

Ha egy ilyen kapcsolat segítségével adott  $M$  forgató nyomatékot szeretnénk átvinni, akkor az  $r$  sugarú tengelyre felírt egyensúlyi egyenlet a következő:

$$\frac{M}{r} = F_t = F_1 - F_2 \quad (3.18)$$

Ahol  $F_t$  a kerületi erő, a súrlódásból eredő erő.  $F_1$  és  $F_2$  pedig a szalag két ágában ébredő erő a hajtógörgő két oldalán.

A végtelen kis  $ds = r d\varphi$  hosszúságú szíjdarabra az  $F$  és az  $F+dF$  erő hat. Sugárirányú összetevőik  $F \sin \frac{d\varphi}{2}$  és  $(F + dF) \sin \frac{d\varphi}{2}$  összege a merőleges erő:

$$dN = 2F \sin \frac{d\varphi}{2} + dF \sin \frac{d\varphi}{2} \approx 2F \sin \frac{d\varphi}{2} \approx F d\varphi \quad (3.19)$$

Ahhoz, hogy a szíjdarab ne kezdjen el csúszni, a  $dF$  erőnövekménynek kisebbnek kell lennie, mint a  $\mu dN = \mu F d\varphi$  súrlódó erőnek. Ebből a két erő kapcsolata (az egyenlőség a megcsúszás határán jön létre):

$$dF \leq \mu F d\varphi \quad (3.20)$$

$$\frac{dF}{F} \leq \mu d\varphi \quad (3.21)$$

Ha a szalag  $\beta$  szögben fogja át a görgőt, akkor a teljes  $\beta$  szögre elvégezve a határozott integrálást az ismert Eytelwein-Grashof képletet kapjuk. Feltéve, hogy a  $\mu$  értéke állandó a felületek közt.

$$\int_{F_1}^{F_2} \frac{dF}{F} \leq \int_0^{\beta} \mu d\varphi \quad (3.22)$$

$$\ln \frac{F_1}{F_2} \leq \mu\beta \quad (3.23)$$

Szemléletesebben:

$$F_1 \leq F_2 e^{\mu\beta} \quad (3.24)$$

Ahol  $\beta$  értékét természetesen radiánban kell megadni. Ebből a képletből következik, hogy adott  $F_t$  kerületi erőre:

$$F_1 \geq \frac{F_t e^{\pi\beta}}{e^{\mu\beta} - 1} \quad \text{és} \quad F_2 \geq \frac{F_t}{e^{\mu\beta} - 1} \quad (3.25)$$

Ebből látszik, hogy a szíjban ébredő erőnek, egy minimális értéket kell elérnie, hogy elkerüljük a csúszást. Ennél nagyobb erők esetén természetesen csak nagyobb biztonság mellett tudjuk átvinni az nyomatékot. Viszont a meghajtótengely terhelését is ez a két erő befolyásolja, vektoriális összegük lesz a terhelő erő.

$$\mathbf{F}_{\text{terhelő}} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (3.26)$$

Ez az eddig felírt megközelítés csak álló helyzetben igaz. A megépített futószalag maximális sebességénél 15 m/s-mal is mozoghat így módosítani kell a számításokat. Nagy fordulatszámoknál ez a formula kiegészül, mivel a görgőn nagy sebességgel haladó elemi szíjdarabokon tehetetlenségi erő: centrifugális erő is fellép. Ez a hatás mozgás közben csökkenti a szalagot a hengerre rászorító erőt, viszont a szíjban létrejövő húzóerő és ezáltal feszültség növekedését okozza. Ha a szalag sűrűsége:  $\rho$ , akkor minden végtelenül kicsiny  $ds = r d\varphi$  hosszúságú elemi szíjdarabra ható centrifugális erő:

$$dF_c = dm \cdot r\omega^2 = d\varphi r h b \rho r \frac{v^2}{r^2} = d\varphi h b \rho v^2 \quad (3.27)$$

Ahol  $b$  a szalag szélessége,  $h$  pedig a vastagsága.

A szíjágban ébredő erő kifejezéséhez osszuk le az egyenletet  $d\varphi$ -vel:

$$F_c = h b \rho v^2 \quad (3.28)$$

Ebből látható, hogy a centrifugális erő minden szíjjelemet ugyanakkora járulékos  $F_c$  értékkel terhel, melynek nagysága független a pálya görbületi sugarától. Ezt a mozgó szíj esetében fellépő erőkomponenst beépítve a megcsúszás feltételének egyenletébe.

$$(F_1 - F_c) \leq (F_2 - F_c) e^{\mu\beta} \quad (3.29)$$

Ha az erőket egységnyi szíjkeresztmetszetre vonatkoztatjuk, tehát bevezetjük a feszültséget, az egyenlet a következőképpen alakul.

$$(\sigma_1 - \sigma_c) \leq (\sigma_2 - \sigma_c) e^{\mu\beta} \quad (3.30)$$

Valamint a hasznos feszültség definíciója:

$$\sigma_p = \sigma_1 - \sigma_2 \quad (3.31)$$

Ebből következik, hogy a hasznos feszültség a szíj sebességétől függ.

$$\sigma_p \leq (\sigma_1 - \sigma_c) \frac{e^{\mu\beta} - 1}{e^{\mu\beta}} \quad (3.32)$$

A fent levezetett képletek segítségével kiszámolható, hogy a már megépített rendszer esetében a hajtógörgő és a szalag között kialakul-e csúszás, illetve ennek mekkora terhelőerő a feltétele. [15] A számításhoz szükséges adatok a motor és a szíj adatlapjáról, valamint a görgő tervezési rajzairól.

	Adat:	Érték:	Mértékegység:
Szalag	Típus	Beltex M25/09 TF Conveyor Belt	-
	Hossz (L)	1850	mm
	Szélesség (b)	380	mm
	Vastagság (h)	0,9	mm
	Felületi sűrűség	1	kg/m <sup>2</sup>
	1% nyúláshoz tartozó erő	2,5	N/mm
	Szakítóerő	60	N/mm
	Súrlódási együttható kívül ( $\mu_k$ )	0,7	-
	Súrlódási együttható belül ( $\mu_b$ )	0,25	-
Motor	Névleges nyomaték	2,5	Nm
Hajtógörgő	Sugár	50	mm
	Szalag átfogási szöge	145	°
Feszítógörgő	Sugár	25	mm
	Szalag átfogási szöge	90	°
Egyéb	Megkívánt sebesség	15	m/s

**3.2. táblázat** Szalag megcsúszásának számításához szükséges adatok

A fentiekben tárgyalt elméletek és levezetések olyan esetekre vonatkoznak, amikor az egyik tengelyről a nagy nyomatékot egy másik tengelyre kell átvinni és erre szíjhajtást alkalmaznak. A tanszéken már megépített és alkalmazott futószalag esetében ez nem teljesen igaz. Itt a meghajtó motornak csak a működés során fellépő veszteségeket kell legyőznie, amelyek:

- Csapágysúrlódás
- Belső súrlódás a szíj folyamatos hajlítgatásából
- Csúszási veszteségek
- Légellenállás a nagy sebességű mozgás miatt

Ezek, az általánosan is felmerülő veszteségek mellett a szakirodalom 95% körüli értéket ír a szíjhajtások hatásfokára. A szélcsatorna mérésekhez használt futószalag esetében azonban nincsen meghajtott tengely és a beépített motornak csak a fent felsorolt veszteségeket kell legyőznie. Ezek a terhelések a szalag hossza mentén, több helyen folyamatosan elszórva helyezkednek el, ezért nehéz a leírásukra pontos modellt készíteni.

A kísérlet azt mutatja, hogy a beépített motor megfelelő teljesítményű a terhelésekhez, és a szalag fel tud gyorsulni a megkívánt 15 m/s-os sebességre. Durva közelítésként azt mondhatjuk, hogy a motor maximális nyomatékára szükség van folyamatos hajtáshoz. Ennél a valóságban ugye nyilván kevesebbre, de ezzel a biztonság irányába tévedünk. Ezen nyomaték a görgőről a szalagra való átadásának feltétele az elegendő nagy súrlódási erő.

A nyomaték átviteléhez szükséges kerületi erő:

$$F_t = \frac{M}{r} = \frac{2,5 [Nm]}{0,05[m]} = 50[N] \quad (3.33)$$

Tehát a hajtógörgő két oldalán a szíjágakban eredő erőknek ennyi lesz a különbsége:

$$F_t = F_1 - F_2 = 50[N] \quad (3.34)$$

Feltételezve, hogy a szíj keresztmetszete mindenhol ugyanakkora:  $A_{szalag}$ , a hasznos feszültség:

$$\sigma_p = \frac{F_t}{A_{szalag}} = \frac{F_t}{b \cdot h} = \frac{50[N]}{0,0009[m] \cdot 0,38[m]} = 0,146 [MPa] \quad (3.35)$$

A szalag felületi sűrűség adatából kiszámolható a fajlagos sűrűsége:

$$\rho = \frac{\rho_{felületi}}{h} = \frac{1 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]}{0,0009[m]} = 1111 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (3.36)$$

Ezáltal a centrifugális erő miatt létrejött feszültség:

$$\sigma_c = \rho \cdot v^2 = 1111 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot \left( 15 \left[ \frac{m}{s} \right] \right)^2 = 0,25 [MPa] \quad (3.37)$$

Ebből a súrlódásra kiszámolt feltétellel:

$$\sigma_p \leq (\sigma_1 - \sigma_c) \frac{e^{\mu\beta} - 1}{e^{\mu\beta}} \quad (3.38)$$

$$\sigma_1 \geq \sigma_p \frac{e^{\mu\beta}}{e^{\mu\beta} - 1} + \sigma_c \quad (3.39)$$

$\beta$  értékét  $[\circ]$ -ről  $[\text{rad}]$ -ra átváltva és azzal tovább számolva.

$$\beta = 145^\circ = \frac{145[\circ]}{180[\circ]} \pi = 2,53 \quad (3.40)$$

$$\frac{e^{\mu\beta}}{e^{\mu\beta} - 1} = \frac{e^{0,25 \cdot 2,53}}{e^{0,25 \cdot 2,53} - 1} = 2,13 \quad (3.41)$$

A fent kiszámolt értékekkel behelyettesítve a húzott ágban lévő húzófeszültségre a megcsúszás elkerüléséhez szükséges minimum érték.

$$\sigma_1 \geq 0,146 [MPa] \cdot 2,13 + 0,25 [MPa] = 0,561 [MPa] \quad (3.42)$$

Ebből kiszámolható a feszes ágban ébredő szükséges erő.

$$F_1 = \sigma_1 A_{szalag} = \sigma_1 b h = 0,561 [MPa] \cdot 0,38 [m] \cdot 0,0009 [m] = 191,9 [N] \quad (3.43)$$

A laza ágban ébredő szükséges erő, a feszes ág és a kerületi erő összefüggésével.

$$F_2 = F_1 - F_t = 190,1 [N] - 50 [N] = 141,9 [N] \quad (3.44)$$

A szíjban a már meghatározott húzófeszültségen kívül kialakul még a hajlítófeszültség is a görgőn való áthaladáskor. Ennek az értéke fordítottan arányos a görgő átmérőjével. A meglévő szalag katalógusában azt írják, hogy az ajánlott legkisebb hajlítási átmérő: 20 mm. Ennél nagyobb a beépített összes görgő sugara, tehát ez nem okozhat gondot. A katalógusban viszont az anyaghoz tartozó hajlítási rugalmassági modulus nem volt feltüntetve. Más katalógusokban, hasonló jellegű szalagok ezen értékeire 5...15 [MPa] érték található. A hajlítófeszültség a következő képlettel számolható.

$$\sigma_{hajlító} = E_h \frac{h}{d} = 15[MPa] \frac{0,0009[m]}{0,1[m]} = 0,135[MPa] \quad (3.45)$$

Tehát a nyomaték átviteléhez szükséges minimális feszítőerők esetén kialakuló feszültség.

$$\sigma_{szükséges} = \sigma_1 + \sigma_{hajlító} \geq 0,561[MPa] + 0,135[MPa] = 0,696[MPa] \quad (3.46)$$

A megengedhető legnagyobb feszültség számításához a gyártó által megadott 1% nyúláshoz tartozó erő értéket kell felhasználni. A gyártó iránymutatása szerint a szalagot nem szabad üzemszerűen ennél nagyobb mértékben terhelni, mert az maradandó alakváltozáshoz és az élettartam lecsökkenéséhez vezethet.

$$\sigma_{meg} = \frac{F_{1\%} \cdot b}{A_{szalag}} = \frac{F_{1\%} \cdot b}{h \cdot b} = \frac{F_{1\%}}{h} = \frac{2,5 \cdot 10^3 \left[ \frac{N}{m} \right]}{0,0009[m]} = 2,77[MPa] \quad (3.47)$$

Ezen kívül a szakadás eléréséhez szükséges erő is meg van adva a szalag adatlapján, ezt az értéket pedig véggépp el kell kerülni, a szerkezet működése érdekében.

$$\sigma_{szakít} = \frac{F_{szakít} \cdot b}{A_{szalag}} = \frac{F_{szakít} \cdot b}{h \cdot b} = \frac{F_{szakít}}{h} = \frac{60 \cdot 10^3 \left[ \frac{N}{m} \right]}{0,0009[m]} = 66,66[MPa] \quad (3.48)$$

Látható, hogy a megcsúszás elkerüléséhez szükséges feszítő erő esetén is jóval a megengedhető határérték alatt marad a szükséges feszültség. Tehát pontos beállítás esetén a szalag hosszú időn keresztül üzemszerűen használható és ennek során csúszás nélkül átviszi a terhelést a meghajtótengelyről a szalagra.

Számoljuk, ki hogy ennek eléréséhez mekkora minimális feszítőerőre van szükség a feszítőgörgőknél. Ezt az előfeszítést a görgő oldalához szerelt rugókhöz kapcsolódó tengely meghúzásával lehet állítani. Túl kicsi előfeszítés sem jó, mert ekkor megcsúszik a szalag, viszont túl nagy sem, mert akkor meg fennáll a veszélye, hogy eljut a maradó alakváltozás sávjába a szalag. Idővel a kúszás jelensége miatt adott szalaghosszhoz tartozó feszítőerő értéke csökken, ezért időről időre utána kell húzni a feszítő csavarokat, hogy mindig meglegyen a megfelelő előfeszítés.

A feszítőgörgőre hatnak a két szíjagról érkező erők, a görgő saját súlyából eredő erő, a kialakítás miatt csak függőleges irányban a görgőt adott magasságban tartó lemez által kifejtett erő, valamint vízszintes irányban a rugó által beállított feszítőerő.

Ezeknek az erőknek a vízszintes vetületi egyenletéből meghatározható a feszítőerő minimális értéke. Tételezzük fel, hogy a szalag két ágáról a görgőre ható erő megegyezik a fent kiszámolt nagyobbik szíjerővel, ezzel ismét a biztonság felé tévedünk, hiszen ez a szíjban kialakuló maximális húzóerő a valóságban két ennél kisebb erő fog hatni a görgőre.

$$K_1 = K_2 = F_1 = 191,9[N] \quad (3.49)$$

Ennek a két erőnek a vízszintessel bezárt szöge.

$$\alpha_{2A} = 27,8^\circ$$

$$\alpha_{2B} = 61,5^\circ$$

Ezek az értékek a feszítés függvényében változnak, mivel ilyenkor változik a feszítőgörgő vízszintes pozíciója. A fent megadott értékek a jobb oldali szélső esetben vannak (nagy megfeszítés esetén). Tehát kisebb feszítés esetén a terelőgörgő ettől a helyzettől balra fog elhelyezkedni, mivel a többi tengely helye változatlan ezért a kialakuló szögek csak nagyobbak lehetnek. Ebből eredően a szíjerők vízszintes vetületei kisebbek lesznek, így ismét a nagyobb biztonság felé tévedünk. A vízszintes (x) irányú vetületi egyenletek.



$$\begin{aligned}
 F_{feszx} &= K_{1x} + K_{2x} = K_1 \cos(\alpha_{2A}) + K_2 \cos(\alpha_{2B}) = \\
 &= 191,9[N] \cos 27,8^\circ + 191,9[N] \cos 61,5^\circ = 261,3[N]
 \end{aligned}
 \tag{3.50}$$

Tehát ennél a kiszámolt értéknél nagyobbra kell állítani az előfeszítési erőt, ahhoz hogy a görgő-szíz kapcsolat megcsúszás nélkül működjön.

Azt biztosan állíthatjuk, hogy nagyobb teljesítmény esetén nagyobb előfeszítési erő szükséges. Ha ez nem éri el az elégséges szintet, akkor a szalag a görgőn biztosan meg fog csúszni. Ilyenkor a szalag sebessége nem állapítható meg a görgő sebességéből. Súrlódási hő is keletkezik, ami teljesítményvesztést okoz illetve a szalag felmelegedését, aminek hatására felgyorsul a kúszás jelensége és csökken az élettartam. Azonban érdemes megvizsgálni, hogy a többi görgő esetén mi a megcsúszás feltétele. Lehetséges, hogy a hajtógörgőnél már csúsznak egymáson a felületek, azonban egy másik görgő esetében még együtt mozognak, így abból a forgási frekvenciából kiszámolható a szalag sebessége.

A feszítőgörgő esetében a fém felület a szalag külső részével érintkezik, amelyre a súrlódási együttható értéke különbözik a belsőétől, ez itt: 0,7. Valamint a hajtótengely által leadott nyomatéknál biztosan kisebb nyomatékot kell átvennie a kapcsolatnak, hiszen ez csak az egyik eleme azoknak a veszteségeknek, amiket le kell győzni a meghajtó nyomatékkal.

Hogy ismét a biztonság felé tévedjünk, tegyük fel, hogy az összes nyomaték itt adódik le. (Tehát a többi tengely és felület súrlódási és egyéb veszteségeitől eltekintünk.) Számítsuk ki erre a görgőre is a megcsúszás elkerüléséhez szükséges feszítőerőt illetve feszültséget a megnövelt teljesítmény esetén. A szíjakban két oldalon kialakult húzóerő meg fog egyezni a megnövelt teljesítmény esetében számolt erővel, valamint a kerületi erő is ugyanakkora lesz csak ellentétes irányú. Hiszen a szíjra más külső erők nem hatnak, tehát Newton III. axiómája értelmében ezek nagyságának meg kell egyeznie. Ebből adódóan a hasznos feszültség, és a centrifugális erő miatt létrejövő feszültség is meg fog egyezni. (A kerületi sebesség is ugyanakkora.)

$$F_{t,fesz} = F_t = 50 [N] \tag{3.51}$$

$$\sigma_p = \frac{F_t}{A_{szalag}} = \frac{F_t}{b \cdot h} = \frac{50[N]}{0,0009[m] \cdot 0,38[m]} = 0,146 [MPa] \tag{3.52}$$

Ezáltal a centrifugális erő miatt létrejött feszültség.

$$\sigma_c = \rho \cdot v^2 = 1111 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot \left( 15 \left[ \frac{m}{s} \right] \right)^2 = 0,25 [MPa] \tag{3.53}$$

Ebből a súrlódásra kiszámolt feltétellel.

$$\sigma_p \leq (\sigma_{1,fesz} - \sigma_c) \frac{e^{\mu\beta} - 1}{e^{\mu\beta}} \tag{3.54}$$

$$\sigma_{1,fesz} \geq \sigma_p \frac{e^{\mu\beta}}{e^{\mu\beta} - 1} + \sigma_c \tag{3.55}$$

Viszont  $\beta$  és  $\mu$  értéke különbözik az előző esetben számoltaktól

$$\beta_{fesz} = 90[^\circ] = \frac{90[^\circ]}{180[^\circ]} \pi = 1,57 [rad] \tag{3.56}$$

$$\mu_k = 0,7[-] \tag{3.57}$$

$$\frac{e^{\mu\beta}}{e^{\mu\beta} - 1} = \frac{e^{0,7 \cdot 1,57}}{e^{0,7 \cdot 1,57} - 1} = 1,5 \quad (3.58)$$

A fent kiszámolt értékekkel behelyettesítve a húzott ágban lévő húzófeszültségre a megcsúszás elkerüléséhez szükséges minimum érték.

$$\sigma_{1, fesz} \geq 0,146 [MPa] \cdot 1,5 + 0,25 [MPa] = 0,469 [MPa] \quad (3.59)$$

Ebből kiszámolható a feszes ágban ébredő szükséges erő.

$$\begin{aligned} F_{1, fesz} &= \sigma_{1, fesz} A_{szalag} = \sigma_{1, fesz} bh = \\ &= 0,469 [MPa] \cdot 0,38 [m] \cdot 0,0009 [m] = 160,4 [N] \end{aligned} \quad (3.60)$$

A laza ágban ébredő szükséges erő, a feszes ág és a kerületi erő összefüggésével.

$$F_{2, fesz} = F_{1, fesz} - F_t = 160,4 [N] - 50 [N] = 110,4 [N] \quad (3.61)$$

Hasonlóképpen az előző esethez ilyenkor is létrejön hajlítófeszültség a szíjban. Ennek értéke a görbületi sugár csökkenése miatt viszont nagyobb lesz

$$\sigma_{hajlító, fesz} = E_h \frac{h}{d_{fesz}} = 15 [MPa] \frac{0,0009 [m]}{0,05 [m]} = 0,27 [MPa] \quad (3.62)$$

Tehát a nyomaték átviteléhez szükséges minimális feszítőerők esetén kialakuló feszültség.

$$\begin{aligned} \sigma_{szukseges, fesz} &= \sigma_{1, fesz} + \sigma_{hajlító, fesz} \geq \\ &\geq 0,469 [MPa] + 0,27 [MPa] = 0,739 [MPa] \end{aligned} \quad (3.63)$$

Tehát látható, hogy a feszítőgörgönél egy kicsit magasabb feszültségérték jelenik meg, de még így is bőven a megengedhető feszültséghatár alatt marad.

$$0,739 [MPa] = \sigma_{szukseges, növelt, fesz} \leq \sigma_{meg} = 2,77 [MPa] \quad (3.64)$$

Határozzuk meg a feszítőerő szükséges nagyságát abban az esetben, amikor a feszítőgörgön futó szalag a megcsúszás határán van. A szíj két ágában ébredő erőből ez számolható. Az, hogy a kiszámolt  $F_{1, fesz}$  és  $F_{2, fesz}$  erők melyik oldalon ébrednek a forgásiránytól függ. A húzott, feszes oldalon lesz a nagyobb  $F_{1, fesz}$  erő. A feszítő erőt a kettő közül a nagyobb esetre számoljuk ki, ilyenkor a nagyobb erő tartozik a kisebb szöghöz.

$$\begin{aligned} F_{feszx, fesz} &= F_{1, feszx} + F_{2, feszx} = F_{1, fesz} \cos(\alpha_{2A}) + F_{2, fesz} \cos(\alpha_{2B}) = \\ &= 160,4 [N] \cos 27,8^\circ + 110,4 [N] \cos 61,5^\circ = 194,6 [N] \end{aligned} \quad (3.65)$$

Tehát a két görgő megcsúszásának elkerüléséhez szükséges feszítőerő viszonya.

$$194,6 [N] = F_{feszx, fesz} \leq F_{feszx} = 261,3 [N] \quad (3.66)$$

Ami azt jelenti, hogy adott teljesítményátvitel esetén ahhoz kevésbé kell megfeszíteni a szalagot, hogy a terelőgörgő ne csússzon meg, mint amennyire a hajtógörgő tapadásának eléréséhez kell. Valamint a feszítőgörgönél szükséges számításoknál nagy elhanyagolásokat és túlzásokat alkalmaztunk, tehát valójában ennél még kisebb erőre lesz szükség. Összegezve, a feszítőgörgő fordulatszámából kalkulálva a szalag fordulatszámát nagyobb előfeszítési tartományban kapunk pontos értéket, mintha ezt a hajtógörgővel tennénk meg.

Láthatjuk, hogy a most működő rendszer esetében üzemi körülmények között nem kell tartani a szalag megcsúszásától. A jövőben viszont lehet, hogy nagyobb terhelésnek is alávetik a rendszert, és egy nagyobb teljesítményű motort beépítve nagyobb terhelésekkel lesz használva. Kiszámítható, hogy ilyen viszonyok esetében hogyan alakulnak a szalagban

ébredő feszültségek, valamint mekkora a megcsúszás esélye és ennek elkerülésére mekkora feszítőerő alkalmazása szükséges.

Tételezzük fel, hogy a megnövekedett igények szerint nagyobb teljesítményű motor kerül beépítésre, ezáltal a szalag sebességét növelni lehet, valamint a rá ható terheléseket és ezáltal az átvinni kívánt nyomatékot is. A terhelés növekedése az alábbi okokból következhet:

- Nagyobb szalagsebesség esetén nagyobb a légellenállás.
- Az áramlási térben a szalag sebességével ellentétes irányú nagy sebességű levegő áramlik.
- Olyan szárnyprofil helyeznek el az áramlási térben, ami növeli a szalagra ható függőleges erőt ezért növekszik a súrlódási erő a mozgó szalag és az alátámasztó lemez között.
- Olyan gépjárműmodell elhelyezése, aminek a kerekeit is meg kell hajtani.

A nagyobb sebességű mozgás elérésénél a leginkább kritikus tényező a szerkezet rezgéstani tulajdonságai. Szakirodalmi leírásokból is kiderül, valamint a tanszéken megépített eszköz tesztelése során is az látszott, hogy ha nincs nagyon pontosan összerakva a szerkezet, akkor egy bizonyos sebesség felett elkezd rázkódni, ami veszélyes lehet a berendezés biztonságára nézve. A rezgéstani modellek megépítése viszont nagyon nehézkes lehet, sőt ilyen bonyolultságú rendszereknél meg szinte lehetetlen. Célravezetőbb tényleges tesztelésekkel és az egyes elemek pontosításával elérni a kívánt eredményt.

Egy nagyobb teljesítményű motor beépítése esetén elérhető feltételezett értékek.

	Jelenleg	Megnövelt	Arány
Sebesség	15 m/s	30 m/s	2
Nyomaték	2,5 Nm	10 Nm	4
Kerületi erő	50 N	200 N	4
Teljesítmény	750W	6000W	8

3.3. táblázat Motor megnövelt értékei

Ezek az értékek, csak egy feltételezett változtatási ötlet részei. Látható, hogy nagyon jelentős a teljesítménynövekedés értéke. Ebben az esetben a keret egyéb részeire ható erőket is újra kellene számolni és ellenőrizni a szerkezet megfelelőségét. A következő számítások csak a hajtógörgő-szíj kapcsolat biztonságának ellenőrzését szolgálják. Hasonlóképpen az előző, valóban létező, végigszámolt esethez az erők valamint feszültségek a következőképpen alakulnak.

$$F_{tnövelt} = 200 [N] \quad (3.67)$$

$$\sigma_{pnövelt} = \frac{F_{tnövelt}}{A_{szalag}} = \frac{F_{tnövelt}}{b \cdot h} = \frac{200[N]}{0,0009[m] \cdot 0,38[m]} = 0,585 [MPa] \quad (3.68)$$

A centrifugális erő miatt létrejött feszültség.

$$v_{növelt} = 30 \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (3.69)$$

$$\sigma_{cnövelt} = \rho \cdot v_{növelt}^2 = 1111 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot \left( 30 \left[ \frac{m}{s} \right] \right)^2 = 1 [MPa] \quad (3.70)$$

Ebből a súrlódásra kiszámolt feltétellel.

$$\sigma_{pnövelt} \leq (\sigma_{1növelt} - \sigma_{cnövelt}) \frac{e^{\mu\beta} - 1}{e^{\mu\beta}} \quad (3.71)$$

$$\sigma_{1növelt} \geq \sigma_{pnövelt} \frac{e^{\mu\beta}}{e^{\mu\beta} - 1} + \sigma_{cnövelt} \quad (3.72)$$

$\beta$  és  $\mu$  értéke megegyezik az első esetben (3.40) (3.41) számoltakkal:

$$\beta = 2,53 [rad] \quad (3.73)$$

$$\frac{e^{\mu\beta}}{e^{\mu\beta} - 1} = 2,13 \quad (3.74)$$

A fent kiszámolt értékekkel behelyettesítve, a húzott ágban lévő húzófeszültségre a megcsúszás elkerüléséhez szükséges minimum érték.

$$\sigma_{1növelt} \geq 0,585 [MPa] \cdot 2,13 + 1 [MPa] = 2,246 [MPa] \quad (3.75)$$

Ebből kiszámolható a feszes ágban ébredő szükséges erő.

$$\begin{aligned} F_{1növelt} &= \sigma_{1növelt} A_{szalag} = \sigma_{1növelt} bh = \\ &= 2,246 [MPa] \cdot 0,38 [m] \cdot 0,0009 [m] = 768,1 [N] \end{aligned} \quad (3.76)$$

A laza ágban ébredő szükséges erő, a feszes ág és a kerületi erő összefüggésével.

$$F_{2növelt} = F_{1növelt} - F_{tnövelt} = 768,1 [N] - 200 [N] = 568,1 [N] \quad (3.77)$$

Hasonlóképpen az előző esethez ilyenkor is létrejön hajlítófeszültség a szíjban, mivel ez független a sebességtől és a kerületi erőtől, ezért ez megegyezik a fent kiszámolttal.

$$\sigma_{hajlító} = E_h \frac{h}{d} = 15 [MPa] \frac{0,0009 [m]}{0,1 [m]} = 0,135 [MPa] \quad (3.78)$$

Tehát a nyomaték átviteléhez szükséges minimális feszítőerők esetén kialakuló feszültség.

$$\begin{aligned} \sigma_{szükseges,növelt} &= \sigma_{1növelt} + \sigma_{hajlító} \geq \\ &\geq 2,246 [MPa] + 0,135 [MPa] = 2,381 [MPa] \end{aligned} \quad (3.79)$$

Ezt összehasonlítva a már kiszámolt megengedett feszültséggel látható, hogy még ilyen terhelések mellett is üzemszerűen működhetne a berendezés, bár a biztonsági tartalék már nagyon alacsony.

$$2,381 [MPa] = \sigma_{szükseges,növelt} \leq \sigma_{meg} = 2,77 [MPa] \quad (3.80)$$

Ekkora megnövelt teljesítmény esetén, a szalag még éppen megfeszíthető annyira, hogy a súrlódó kapcsolat ne szűnjön meg, ne kezdjenek egymáson csúszni a felületek illetve az így kialakuló feszültség még éppen a megengedhető határ alatt van. Azonban ez a sáv ilyenkor már nagyon keskeny, úgyhogy nem érdemes eddig a határig elvinni a berendezést.

### 3.4.5. Szalag megnyúlása:

A következő számításba veendő probléma, a rugalmas kúszás hatása a sebességre. Ha a mozgást rugalmas szíj viszi át, mindig van sebességveszteség. A szíjjeleket más feszültség terheli, mialatt a hajtótengelyre futnak a hajtóttról és más, amikor visszafutnak. A rugalmasság és a változó terhelés következtében a szíjjelemek hossza  $l_1$  és  $l_2$  között váltakozik. Minden szíjjelem a meghajtott görgőkön áthaladva  $\Delta l$ -lel megnyúlik, majd a hajtógörgőn ugyanennyivel megrövidül. Mivel egy időegységben minden egyes keresztmetszeten ugyanakkora szíjtömegeknek kell áthaladniuk, a szíj sebessége a feszes ágban a hajtó görgőre való felfutásnál a legnagyobb:  $v_1$  (egyenlő a görgő kerületi

sebességével) és a laza ágban hajtott görgőkre való felfutásnál a legkisebb:  $v_2$ . A viszonylagos különbség a rugalmas kúszás.

$$\frac{v_1 - v_2}{v_1} = \frac{\Delta l}{l} = s = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{E} = \frac{\sigma_p}{E} \quad (3.81)$$

Ez annál nagyobb, minél nagyobb a  $\sigma_p$  hasznos terhelés és minél kisebb az  $E$  rugalmassági modulus. Az  $E$  az anyagot jellemző tulajdonság, viszont erre vonatkozó adat a futószalag adatlapjában nincs feltüntetve, azonban megtalálható benne az 1% nyúláshoz tartozó erőérték. Feltételezve, hogy az 1%-on belül lineárisan rugalmas az anyag, és a Hook-törvény elég jó közelítéssel írja le. A polimerek viselkedését ennél bonyolultabb időfüggő anyagjellemzőkkel szokták megadni, sajnos erre viszont ebben az esetben nem állnak rendelkezésre adatok, valamint kis változásra ez a modell is jó közelítést ad. A katalógusban az 1% nyúláshoz tartozó erő.

$$F_{1\%} = 2,5 \frac{N}{mm} = 2500 \frac{N}{m} \quad (3.82)$$

$$\varepsilon_{1\%} = 0,01 \quad (3.83)$$

A Hook-törvény alapján:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3.84)$$

$$E = \frac{\sigma_{1\%}}{\varepsilon_{1\%}} = \frac{\frac{F_{1\%} \cdot b}{A_{szalag}}}{\varepsilon_{1\%}} = \frac{\frac{F_{1\%} \cdot b}{h \cdot b}}{\varepsilon_{1\%}} = \frac{2500 \left[ \frac{N}{m} \right]}{0,0009[m] \cdot 0,01} = 277 [MPa] \quad (3.85)$$

Ezt, valamint a normál működésnél lévő hasznos feszültséget behelyettesítve az előzőbe. Tehát ismét feltételezzük, hogy a motor teljes névleges nyomatékkal üzemel.

$$\sigma_p = 0,146 [MPa] \quad (3.86)$$

$$\frac{v_1 - v_2}{v_1} = \frac{\sigma_p}{E} = \frac{0,146 [MPa]}{277 [MPa]} = 0,53 \cdot 10^{-3} = 0,05\% \quad (3.87)$$

Ekkora átvitt nyomaték esetén a meghajtógörgő két ágában kialakuló sebességek viszonylagos különbsége ilyen kicsiny lesz. Mivel a terhelések a szalag mentén szétszórva helyezkednek el, ezért a meghajtógörgő felületi sebességének és az áramlási térben lévő sebességnek a különbsége ennél kisebb lesz.

### 3.4.6. A sebességet módosító tényezők összesítése:

Módosító részegység:	Becslés	Módosító érték:
Frekvenciaváltó	<	$\pm 0,04$ Hz
Aszinkron motor	>	4,33 %
Tengelykapcsoló	-	Állandó állapotban 0
Görgő-szík kapcsolat	>	Elég nagy előfeszítésnél 0
Rugalmas kúszás	<	0,05%

3.4. táblázat Sebesség értékét módosító elemek hatása

---

Az összesítésből látható, hogy a végső sebesség kialakulásában szerepet játszó tényezők hatása még csak nagyságrendben sem egyezik meg. Ezen értékek szem előtt tartásával kell meghatározni, a sebességmérés módját és helyét, amely a visszacsatolás számára szolgáltatja majd a jelet. Fontos még figyelembe venni a különböző technikai megoldások anyagi vonzatát és a beépítési lehetőségeket. Valamint hogy mekkora a sebességmérés elvárt pontossága, hiszen nem érdemes a többi már meglévő elemnél nagyságrendekkel pontosabb berendezést építeni, mert akkor nem tudnánk kihasználni az előnyeit.

### 3.5. A sebességméréshez használható mérőeszközök összehasonlítása

A futószalag sebességének méréséhez sokféle lehetőség áll rendelkezésre. Ezeket a fent tárgyalt szempontok alapján össze kell hasonlítani és ki kell választani a feladat számára legmegfelelőbbet.

#### 3.5.1. Mozgó felület sebességét mérő szenzorok

Az első egyik legkézenfekvőbb gondolat, hogy az áramlási térben mozgó szalag sebességét közvetlenül mérjük, egy optikai módszer segítségével. Egy síklap, vagy akár bármilyen kiterjedt test érzékelő irányába történő mozgása könnyen detektálható és mérhető. Az ilyen feladatokhoz bevált módszer, hogy egy kibocsátott fénysugár visszaverődésének idejét mérik, ebből megállapítható a test távolsága. Majd időben ezt többször elvégezve a test távolságának időbeli változásából könnyen kiszámítható a sebesség. (Például: Személyautók sebességének mérésére szolgáló „radar”)

A tárgyak oldalirányú mozgásának mérése viszont nehezkesebb feladat, hiszen ilyenkor egy legalább alap szintű képfelismerő módszerre van szükség. Megmérve, hogy adott idő alatt a megfigyelt rész mekkora távolsággal mozdult el, meghatározható az objektum és a megfigyelő egymáshoz viszonyított sebessége.

#### Számítógépes egér:

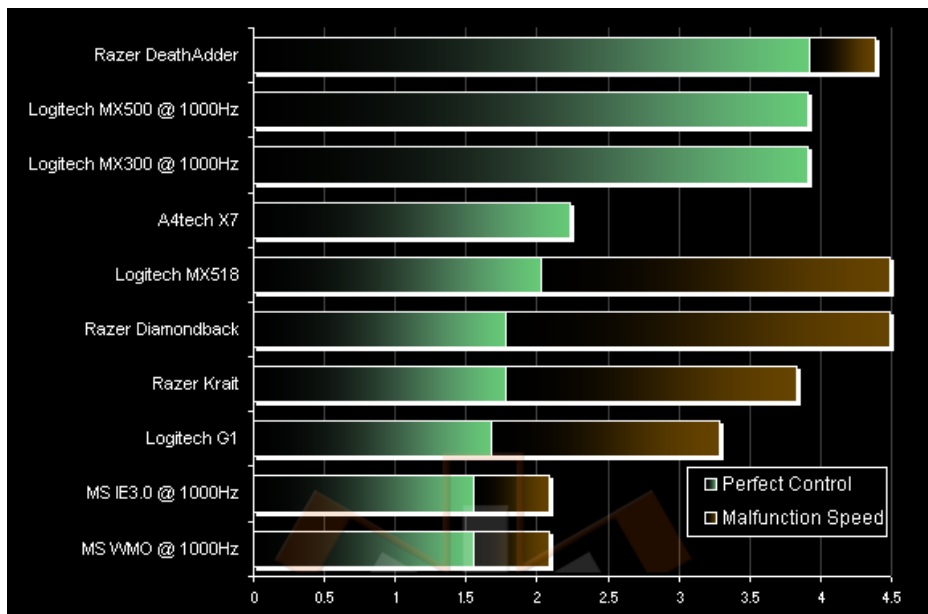
A fent említett technikát alkalmazzák a manapság egyre jobban elterjedt optikai egerek. Itt egy LED megvilágítja a mozgó felületet, majd a visszaverődő fény egy képfelismerő szenzorba jut. Nagyon sokféle szabvány létezik a pontos megvalósításra, de általánosan azt mondhatjuk, hogy 12kHz körüli villogás és mintavételezés mellett egy négyzet alakú (~20x20 pixel) monokromatikus képfelismerő gyűjti az adatokat. A modernebb technológia esetében az általános LED helyett egy infravörös lézer diódát építenek be, amivel akár 20-szor jobb eredmény érhető el a mozgó felület követését illetően.



3.7. ábra Lézeres egér [16]

A módszer mérési pontossága elég tág határokon belül mozog. A különböző típusok összehasonlítására általában a következő mérőszámokat használják:

- mintavételezési frekvencia  
általában 10kHz-es nagyságrend
- malfunction speed: az a sebességérték, ami fölött a rendszer teljesen összezavarodik  
~1,1m/s-tól 4,5m/s-ig
- perfect control: az a sebességérték, aminél még pontosan leköveti a mozgást a szenzor  
~0,5m/s-tól 4m/s-ig
- felbontás: egy adott távolságon belül hány pozíciót tud megkülönböztetni  
400-tól 2800 DPI-ig (képpont per hüvelyk)



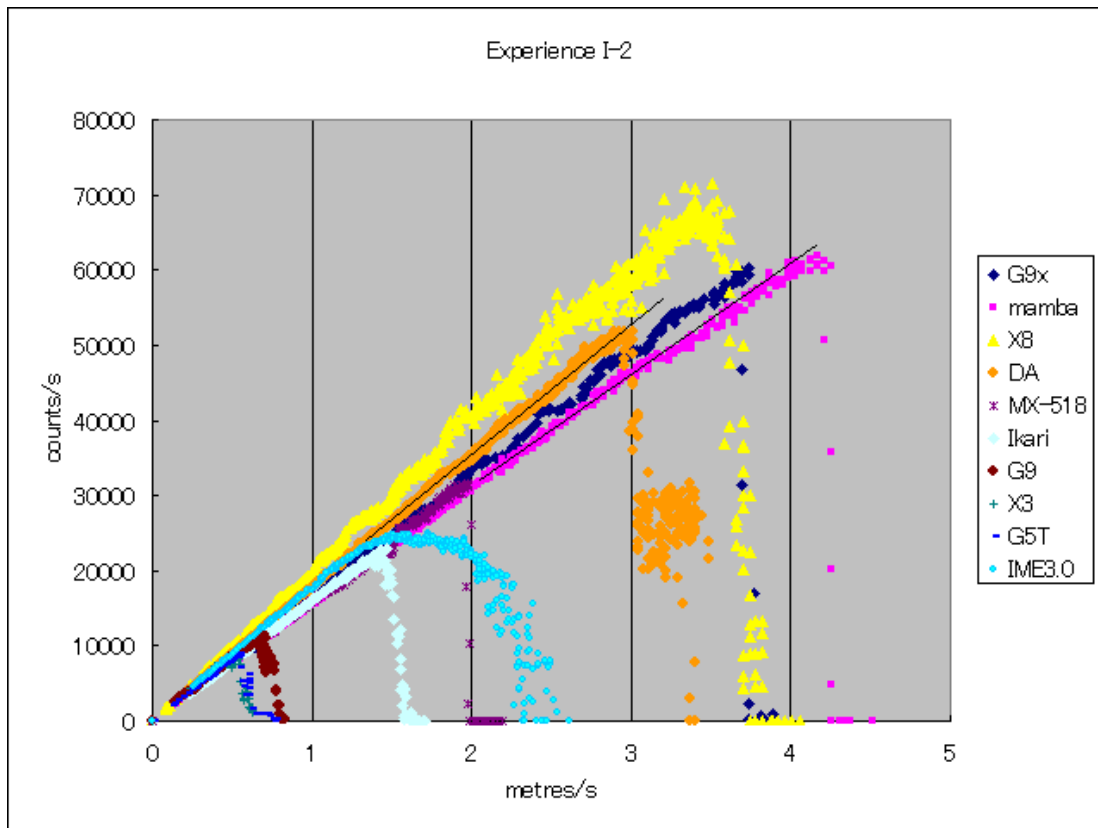
3.8. ábra Különböző típusú optikai egerek méréshatárának összehasonlítása [16]

Az alsó ábrán látható, hogy egy határsebesség elérése után a szenzor hirtelen elveszti a pontosságát. A nagyobb sebességek felé haladva a mért adatok pontossága is egyre jobban szóródik és néhány százalékos eltérést tapasztalhatunk. [16]

A technológia alkalmazásának hátrányai:

- Az fénykibocsátó és fényérzékelő egységnek közel kell lennie a mozgó felülethez, hogy elegendő fény jusson az érzékelőbe.
- Más kívülről érkező fényhatások megzavarhatják.
- Nem minden felület esetén működik jól, üvegszerű, átlátszódó, vagy tükörszerű felületeken nem használható. Erre is vannak újítások és az „üveg lézer” (glaser) technológiával ilyen felületeken is használható kisebb hibák mellett.
- A nagy pontosságú szenzorok, még a nagy kereskedelmi forgalomban kapható termékek esetén is nagyon magas árakat érhetnek el.
- Ipari környezetben használva könnyedén valami a lézer útjába kerülhet és koszolódhat, ami megszüntetheti a szenzor működését.
- Ekkora sebességhatáru szenzorok nem felelnek meg a futószalag elvárásai között szereplő 15m/s-ot elérő szalagsebesség igényének.

A technológia fejlődésével és a piaci igények növekedésével ezek a fentiekben tárgyalt értékek folyamatosan növekedni fognak, de egyelőre még nem elég fejlett a technológia ilyen nagy sebességű mozgások követésére.



3.9. ábra Különböző számítógépes egér típusok impulzusszám-sebesség görbéje [17]

### Nagy sebességű video kamera:

Egy lehetséges továbblépési út lehet a fent tárgyalt számítógépes egerek esetében is a lassan a piacon megjelenő kis felbontású, nagy sebességű mini kamerák alkalmazása.

Már rég óta léteznek nagy sebességű kamerák, amelyeknek a felvételi sebessége elérheti az 1000 fps (kép per másodperc) nagyságrendet akár 1MPixel felbontással. A módszer jól használható gyorsan mozgó tárgyak követésére, mozgásuk vizsgálatára, viszont a sebesség méréséhez bonyolult és gyorsan működő alakfelismerő szoftverre van szükség.

Egy ilyen berendezés segítségével nagy pontossággal mérhető lenne a futószalag sebessége, viszont fölösleges lenne egy ennyire kifinomult technikát egy ilyen egyszerű problémára használni, valamint a berendezés bekerülési költsége is fölülmúlná a rászánható összeget.

### Reflexiós optoszenzor:

A lineáris sebességmérés megvalósításának még egy az előzőekhez hasonló megvalósítása, hogy a mozgó felületen fényvisszaverő jelöléseket helyezünk el és ezek áthaladását figyeljük egy reflexiós optokapun. A szenzor kimenete bináris, tehát amikor épp egy ilyen jelzőcsík halad el alatta akkor 1 kimeneti értéket vesz fel, miután elhaladt 0-át. (Vagy fordítva.) Az elhelyezett jelzőszalagok egymástól mért távolságának ismeretében és két impulzusváltás között eltelt időből kiszámítható a sebesség. A módszer előnye:



- Nagyon olcsó, mert csak fényvisszaverő matricára és egy minimális áramkörrel ellátott fénykibocsátó diódára, valamint optoszenzorra van szükség.
- Egyszerű a megvalósítása. A tápegységre kötött szenzor kimenetét egy digitális I/O porton beolvasva tudjuk mérni az egyenlő távolságra felhelyezett jelzőcsíkok elhaladása között eltelt időt.

Az alkalmazásnak viszont több hátránya is megemlíthető:

- Nehézkes pontosan ugyanakkor távolságokra elhelyezni a jelzőcsíkokat, ha ez nem sikerül akkor nagy ingadozás lesz a mért sebességben.
- Minél többet érdemes elhelyezni, hogy lassú sebességnél is pontos eredményt kapjunk, bár így is egy kis eltérés nagy mérési hibához vezethet.
- A futószalag feszítésével változik a szalag hossza (akár 1%), emiatt a pontos távolságot minden egyes feszítésnél újra kéne mérni.
- A jelzőcsíkokat vagy matricaként ragasztjuk, de akkor fenn áll a veszélye, hogy idővel leesnek, mivel mindenképpen áthaladnak valamelyik görgőn. Ha a szalag felületén teszünk valamilyen jelölést, akkor az az anyagát rongálhatja, így hozzájárulva a gyorsabb tönkremenetelhez.
- Hasonlóan a számítógépes egerek esetében alkalmazott szenzoroknál itt is feltétel, hogy közel legyen a mérendő felülethez a megfelelő megvilágítás miatt. Azonban egy esetleges meghibásodás, szalagszakadás esetén ez tönkre teheti a mérőberendezést.

### 3.5.2. Elfordulást mérő szenzorok

Az egyenes vonalban mozgó futószalag sebességmérésének másik lehetséges módszere, hogy nem közvetlenül mérünk, hanem az egyik szalaggal kapcsolatban álló görgő fordulatszámát mérjük. Ebből a görgő sugarának ismeretében meghatározható a kerületi sebesség. Az ilyen, tengelyek elfordulását mérő szenzort encodernek nevezik. Az ilyen módszer használatának feltétele, hogy a forgó görgő, és a felületén futó szalag sebességének pontosan meghatározott legyen a kapcsolata. Ismerni kell hozzá a súrlódási és megcsúszáshoz szükséges feltételeket, a sugarának és a szalag vastagságának pontos adatait. A módszer előnye, hogy az encoder mereven van rögzítve a forgó tengelyhez és nagyon nagy, akár több ezres nagyságrendű beosztás van fordulatonként. Így a szög helyzet minimális változása is pontosan nyomon követhető. Bár a szenzor fizikai kontaktusban van a mérendő elemmel, a szenzor tengelye csapágyazott és az elfordulás mérés optikai esetleg mágneses módon történik, így nagyon kicsi az ellenállása. Az előbbiekben leírtak miatt a szerszámiparban nagyon elterjedt alkalmazásuk motorok szögelfordulásának és szögsebességének mérésére. Gyakran, amikor lineáris elmozdulást golyós orsó segítségével hoznak létre forgó mozgásból, az inkrementális távadó helyett a forgó tengely szög helyzetéből számolják ki a lineáris pozíciót. Az irodalomkutatás rész példáin is láthatjuk, hogy a már megépült és nagy pontosságú mérésekre használt mozgó talajt szimuláló futószalagok esetében is ilyen, forgómozgásra visszavezetett sebességmérést alkalmaznak. Futószalagok esetében a mérési pontosságot nagyban javíthatja, hogy ha az encoder nem a hajtótengelyhez, hanem az egyik, minél kisebb terhelést átvivő tengelyhez van hozzákapcsolva. Ezáltal a kisebb nyomaték miatt kisebb a kerületi erő, ebből fakadóan kisebb a megcsúszás valószínűsége, tehát nagyobb pontossággal számolható a szalag sebessége. A megcsúszás lehetőségének még nagyobb csökkentése érdekében létezik olyan módszer, hogy az elfordulást mérő szenzort egy nagy súrlódási együtthatójú kerékhez

---

illesztik. Ezt hozzányomva a mérendő felülethez, a jól csapágyazott tengely, a nagy súrlódás miatt jól együtt forog a mérendő szalaggal. A külön görgős megoldás előnye még, hogy mobilis, tehát a szerkezeten végrehajtott nagyobb változtatások nélkül áthelyezhető a rendszer másik részére.

A fent leírt, a futószalag sebességének kialakulását befolyásoló tényezők, valamint a megvizsgált szenzorok tulajdonságait összehasonlítva választható az általános feltételeket is kielégítő lehető legjobb megoldás. Láthattuk, hogy a sebesség változását befolyásoló, legnagyobb tényező – elegendő nagyságú előfeszítést feltételezve - az aszinkron motor szlipje. Ez az érték legalább két nagyságrenddel nagyobb a többi befolyásoló tényezőnél, tehát a motor tengelyét szabályozva már jelentős javulás érhető el. A sebességet befolyásoló elemek láncában a következő részek már nagyon kis módosító hatással bírnak. Ezt összehasonlítva a szélcsatorna mérési pontosságával, valamint a szabályozással elérhető és általánosan megkívánt követelményekkel ez a módosító hatás elhanyagolható.

Azonban fontos megemlíteni, hogy az elhanyagolás csak a megcsúszásmentes esetben igaz. Ez a jelenség, viszont igen nehezen észrevehető a már beépített szerkezet esetén használat közben, hiszen a szalag ettől még ugyanúgy mozog, csak az elvártnál kisebb sebességgel. Nagy előfeszítés segítségével biztosítható a tapadás feltételének többszöröse, így nagy sebességek esetén is biztosan csúszásmentes a kapcsolat a görgők és a szalag között. Azonban a polimer szalag fizikai tulajdonságaiból eredően kúszik, tehát a beállított feszítőerő idővel és használattal csökken. Ez azt jelenti, hogy a sokáig csúszásmentesen, jól működő szalag minden látható jel nélkül elveszti a megfelelő tapadást.

Ezt végiggondolva érdemes a szalag sebességét egy olyan helyen mérni, ahol a megfeszítőerő nagyobb tartományában áll fent a pontos kapcsolat. A szabályozáshoz szükséges sebességadatot itt mérve a hajtógörgő esetleges megcsúszása esetén is pontos eredményt kapunk. Ezen kívül a megcsúszással létrejött nagy fordulatszám különbség a meghajtott és a mért tengely között figyelmeztet, hogy újból elő kell feszíteni a rendszert. Tehát egy biztonsági funkció is beépíthető.

A megcsúszás határállapotát meghatározó tényezők vizsgálata, a fent leírtak, valamint a megvalósíthatóság alapján, a fordulatszám-mérő különböző elhelyezésének hatásai:

- Meghajtógörgőre: Kialakítás szempontjából nagyon előnyös, a motor oldalon könnyen felszerelhető lenne egy hüvelyes tengelyű encoder. Stabílan felszerelhető az alapra, vagy a keret egyik pontjára, a feszítés állítása, takarólemezek változtatása nem zavarja.
- Terelőgörgőkre: Az álló tengely kialakítás miatt, valamint amiatt, hogy alig van hely a keret és a görgők között lehetetlen a beszerelést megvalósítani.
- Feszítőgörgőre: Az álló tengelyes megoldás itt is nehézkessé teszi a kialakítást, viszont a tartólemez és a görgő között bőven van elég hely. Egy lehetséges megoldás a görgőre belülről erősített kisebb sugarú tengely helyezése, amire ráhúzható a szintén hüvelyes tengelyű encoder. Így az álló tengely körül forogva működne a fordulatszám-mérő. A megvalósítást nehezíti, a feszítőgörgő pozíciójának nem állandó helyzete. A szenzornak állandó szöghelyzetben kell lennie a pontos mérések érdekében, erre egy megoldási javaslat a feszítőcsavarhoz való erősítés, ezáltal az előfeszítés és a tengely pozíciójának változtatásával is a tengelyhez képest állandó helyzetben lenne a szenzor. A megcsúszás szempontjából viszont sokkal előnyösebb ez a kialakítás a meghajtott tengelyhez kapcsolt verziónál, hiszen itt kisebb a megjelenő terhelő nyomaték, valamint mivel a szalag külsejével érintkezik a görgő, jóval nagyobb (majdnem 3-szor akkora) a súrlódási együttható.

### 3.6. Egyéb, a működéshez nem szükséges, biztonságos működést elősegítő megoldások

A szakirodalomban leírtak, valamint a tanszéki laboratóriumban megépített berendezés működésének első kísérletei alapján azt láthatjuk, hogy a működés közben meghibásodások léphetnek fel, amik a kísérlet eredménytelenségéhez, vagy a rendszer maradandó károsodásához vezethetnek. A már beépített, takarólemezekkel ellátott gép esetén egy mérés közben alig vagy egyáltalán nem vehetőek észre azok a jelenségek, amikből következtetni lehetne egy hamarosan bekövetkező hibára. Ezért érdemes olyan figyelő és jelzőszenzorokat beépíteni, amik figyelik a problémásabb területeket.

#### Szalag helyes futását figyelő optika

Az első kísérletek során a legnagyobb hibának az bizonyult, hogy a nem kellő pontossággal beállított görgőkről valamelyik oldalra működés közben lecsúszott a szalag. A görgők centrálását követően sikerült ezt a problémát megoldani, viszont folyamatosan fennáll a veszélye, hogy a manuálisan beállított előfeszítések a két oldalon nem egyeznek meg és emiatt lecsúszhat a szalag nagy sebességnél. Két a szalag szélein elhelyezett optikai szenzor segítségével figyelni lehetne az oldalirányú helyzetet. A nagy, kísérleti szélcsatornában használt futószalagok esetében, ahogy a szakirodalomban is láthatjuk, az előfeszítést és a szalag futásának igazítását egy automatizált rendszer végzi. Ha ezt nem is lehetséges megvalósítani a laborban alkalmazott rendszer esetén, mindenképpen fontos lenne egy figyelőrendszer beépítése, ami hiba esetén a kijelzőn jelez és azonnal leállítja a mérést

#### Hőmérő eszközök:

Hosszú mérések alatt a rendszer folyamatos igénybevételeknek van kitéve. Súrlódó elemek esetében nagy hőmérsékletemelkedés jöhet létre, ami módosíthatja a működést. A szalag esetében magas hőmérsékleten nagyobb a megnyúlás, ami a görgőkön való megcsúszáshoz vezethet, valamint a szalag öregedését is gyorsítja, ezáltal csökkentve az élettartamot. A nagy mértékben fejlődő hő az áramlási térben mozgó levegő hőmérsékletét is növelheti ezáltal változtatva a mérés kimenetelén. Ezen megfontolások alapján megfontolt lenne elhelyezni hőmérő szenzorokat a futófelületnél, valamint a hajtáson és a motoron. Ezek a számítógépes felületen jeleznék, hogy túlmelegedés van és ideje leállítani a rendszert.

#### Vészleállító gomb:

A berendezések szoftveres vezérlése esetén esély van a program valamilyen meghibásodásának és ilyenkor nem lehetséges, vagy nagyon nehéz a felhasználói felületen történő állítás. Az is lehetséges, hogy a jól működő programban egy olyan paraméter kerül átállításra, ami gyorsan megváltoztatja és veszélyessé teszi a működést. Ezen kívül a nagy sebességgel mozgó szalag már önmagában is egy veszélyforrás lehet. Ezért mindenképpen ajánlott lenne egy, de esetleg két vészleállító beépítése. Az egyik csak a vezérlőjeleket állítaná 0 értékre, így a túlvezérlés ellen lehetne megvédeni a rendszert. A másik a szokásos működésű vészleállító lenne, ami a teljes áramellátását szüntetné meg a rendszernek.

## 4. A VEZÉRLŐRENDSZER MŰKÖDÉSÉHEZ SZÜKSÉGES ESZKÖZÖK MEGHATÁROZÁSA

Az előző pontban meghatározott követelmények alapján készíthető egy lista, hogy milyen mérő, jelfeldolgozó és –átalakító elemekre van szükség a szélcsatorna, valamint a futószalag szabályozásának megvalósításához. A különböző elemek ki- és bemeneti jellemzőit is meg kell vizsgálni, hogy az egyes részek kompatibilitásáról meggyőződhesünk. Különböző típusú jelek esetén a megfelelő átalakító egységről is gondoskodni kell. A tervezésnél szem előtt tartandó végcél, hogy egy központi számítógéppel az adatok és mérési eredmények digitálisan beolvashatóak, kiírhatóak és tárolhatóak legyenek. Illetve a vezérlési paraméterek – szintén számítógépes felületen történő - beállítása után a szélcsatorna és a futószalag teljesen automatikus sebességszabályozással működjön.

Korábban már említett fontos szempont még a választásnál az általános feltételek kielégítése, valamint a bővíthetőség, tehát a jövőben felmerülő kisebb változtatási javaslatokat könnyedén be lehessen építeni a már megépített rendszerbe.

### 4.1. A szélcsatorna sebességszabályozásához szükséges eszközök

Az előző részben tárgyaltak alapján a következő jelek méréséhez, illetve vezérléséhez szükséges berendezések:

- Felületi nyomásmegcsapolások és a külső nyomás különbségét mérő nyomástávadó
- Az áramló levegő hőmérsékletét mérő hőmérő
- Légköri nyomást mérő műszer
- Ventilátor vezérléséhez szükséges bemenő feszültség

#### 4.1.1. Nyomástávadó

A tanszéken több használatban lévő nyomástávadó is van, ezek a + és – csatornákon csatlakoztatott nyomásértékek alapján állítanak elő analóg DC feszültségjelet. Az NPL szélcsatornához használtak mind Setra 239 típusúak, bár különböző további jellemzőik vannak. Ezek közül néhányat kiemelve:

Mérőműszer száma	239/5
Mérési tartomány	$\pm 250$ Pa
Mérési pontosság	$\pm 0,7$ Pa
Tápellátás	24 V DC
Kiment	$\pm 2,5$ V DC

4.1. táblázat Áramlástan labor 239/5 számú nyomástávadó adatai

Mérőműszer száma	239/9
Mérési tartomány	$\pm 1870$ Pa
Mérési pontosság	$\pm 5$ Pa
Tápellátás	22-30 V DC
Kiment	1-5 V DC

4.2. táblázat Áramlástan labor 239/9 számú nyomástávadó adatai

Mérőműszer száma	239/12
Mérési tartomány	0-125 Pa
Mérési pontosság	$\pm 0,2$ Pa
Tápellátás	24 V DC
Kiment	1-5 V DC

**4.3. táblázat** Áramlástan labor 239/5 számú nyomástávadó adatai

Összességében mindháromról elmondható, hogy 24V egyenfeszültséggel meghajtható és a kimenete a -2,5-5 V DC tartományba esik. A 15 m/s levegősebességnél kisebb mérésekhez optimális lenne a 239/12 számút használni, mivel ennek a mérési tartományát majdnem lefedné az ekkora sebességeknél kialakuló nyomáskülönbség, és a nagy mérési pontosság miatt jól meg lehetne határozni a kialakult szélességet.

#### 4.1.2. Hőmérő

A hőmérséklet folyamatos mérésére nem feltétlenül van szükség az áramlási térben, illetve a labor más pontjain mérhető hőmérséklet jó közelítéssel megegyezik az áramló levegőjével. Főleg a kisebb szélcsatornák esetében is, mint amilyen az NPL itt nem egy nagyjából zárt körben áramlik a levegő, hanem a labor levegőjét szívja el. Emiatt az egyszerűbb mérések esetén csak a laborban elhelyezett digitális hőmérő kiírt értékét leolvasva történnek a számítások. Ezen kívül található egy hőmérő, ami RS232 porton keresztül tud kommunikálni egy számítógéppel. A hozzá tartozó Labview program segítségével valós időben lekérdezhetők a mért értékek. A műszer egy 9V-os elemmel működik, illetve saját tápegységével a hálózatra csatlakoztatható.

#### 4.1.3. Légnyomásmérő

Más néven barométer használatára a hőmérőhöz nagyon hasonló módon van szükség. Általában a mérés elején egyszer az elektromos működésű, digitális számkijelzésű, vagy higanyos nyomásmérőről leolvasott értékkel történik a számítás. A pontosabb mérésekhez szükség lehet folyamatos légnyomásértékekre is. Ezt a célt tudják kiszolgálni a kimenettel rendelkező elektromos nyomásmérők. Táplálásuk a hőmérőhöz hasonlóan 9V-os elemről, vagy hálózatra csatlakoztatható tápegységről. Kimenetként típustól függően létezik digitális kimenetű szintén RS232 csatlakozással, vagy analóg kimenetű 0-1V DC feszültséggel.

#### 4.1.4. Hajtáshoz szükséges vezérlőjel

Az NPL szélcsatorna esetében a ventilátor teljesítményét két külön álló potenciométer segítségével lehet állítani. Egy kapcsoló állapota dönti el, hogy a két beállított érték közül melyik vezérlőjelet használja a hajtás. A potenciométerrel a rákapcsolt 10V DC feszültség leosztására van lehetőség a beállított szöghelyzet arányában. Tehát a vezérlőjel bemenetére kívülről 0-10V DC jelet kapcsolva megoldható lenne a ventilátor vezérlése. A kapcsoló segítségével viszont mindig át lehetne váltani a kézi potenciométeres beállítási lehetőségre. Megjegyzendő, hogy ez a jelszint csak az NPL szélcsatorna esetén igaz, és mivel az általános követelmények között szerepelt, hogy a másik szélcsatornába is áthelyezhető legyen a futószalag. Ott nem biztos, hogy ugyanilyen egyszerűen módosítható a vezérlés, ezért olyan esetben ezt felül kell vizsgálni.

---

## 4.2. A futószalag sebességszabályozásához szükséges eszközök

A szélcsatorna sebességszabályozásához szükséges fent felsorolt elemekhez hasonlóan itt is meghatározható milyen egységek kelljenek a rendszer működéséhez, illetve ezeknek mik a be- és kimeneti tulajdonságaik. A fenti felsoroláshoz és képest itt jóval nagyobb a tervezői szabadság, és ezáltal a felhasználható lehetőségek halmaza, mivel szélcsatorna esetében már nagyrészt meglévő berendezések tulajdonságainak elemzéséről volt szó, itt pedig újonnan beszerzendő elemek meghatározásáról a kompatibilitás szem előtt tartása mellett.

A sebességszabályozás megvalósításához a következő elemekre lesz szükség:

- A frekvenciaváltó és a számítógép kapcsolatához és kommunikációjához szükséges egység.
- Fordulatszámérő
- Fordulatszámérő kimeneti jelét a számítógépbe továbbító egység

### 4.2.1. Frekvenciaváltó kommunikáció

Az aszinkron motort meghajtó frekvenciaváltónak alapvetően 3 féle különböző bemenete van. Az első a manuális: néhány gomb és egy potenciométer segítségével lehet a megkívánt frekvenciaértéket beállítani, valamint egy sor különböző beállítás érhető el a meghajtás tulajdonságaihoz. Analóg bemenettel is rendelkezik, amelynek segítségével a beállított frekvenciatartományon tudjuk vezérelni a kimenő feszültséget. A legkorszerűbb és legjobban felhasználható felület a digitális bemenet. Ennek segítségével az összes manuálisan beállítható adat nagyon gyorsan változtatható egy külső egységről. A digitális kommunikáció modbus protokollal zajlik és ennek érdekében egy RJ45-ös csatlakozóval van ellátva a berendezés. A modbus egy ipari berendezések egymás közötti kapcsolat megvalósítására kifejlesztett és alkalmazott kommunikációs mód. A kapcsolat mester-szolga (master-slave) jellegű. Az ilyen rendszerekben a csatorna felett a mester gyakorolja a kizárólagos ellenőrzést, aki gondoskodik annak a csatlakozó egy vagy több szolga közti megosztásáról. A szabályok szerint szolgák a csatornára csakis akkor küldhetnek jeleket, ha erre a mester előzetesen felszólítja őket - így elkerülve a párhuzamos küldési kísérletekből eredő ütközéseket. [18] A modbus esetében 31 szolga egyszerre történő összekapcsolására van lehetőség. A mester beolvashatja és módosíthatja (írhatja) a többi egység különböző regisztereiben lévő adatokat, ezzel befolyásolva működésüket. A következő paraméterek változtatására van lehetőség, viszont a működéséhez ezeknek meg kell felelnie a különböző elemeknél:

- RTU: bináris, ASCII: ember által olvasható kódolás
- Baud rate: impulzus/sec ez alapvetően a kábelén átvitt információ sebességét határozza meg
- Szolga cím (slave adress): a megcímezni kívánt egységnél ténylegesen a helyes adat legyen beállítva
- Time-out: az időkorlát amely elérése esetén nem vár tovább a válaszjelre.

A kommunikáció úgy zajlik, hogy a mester kiad egy kérést majd erre a megcímezett szolga válaszol, illetve előtte egy értéket módosít. Minden RTU módban kiadott kérés a következő elemekből épül fel:

- Szolga címe: 1-31 közötti szám, előtte be kell állítani mindegyik egységnél.
- Kérés kódja: milyen műveletet hajt végre. Legfontosabb esetek:
  - 03: Regiszterek beolvasása

- 06: Egy regiszter írása
- 08: Diagnosztika: a kapcsolatot ellenőrzi
- 16: Több regiszter írása
- Adat:
  - Melyik regiszter(től)
  - Regiszterek száma
  - Beírandó új érték
- Ciklikus redundancia ellenőrző paraméter.

Minden modbus-on keresztül kommunikáló egység esetében előre meg van határozva, hogy melyik regiszterben melyik tulajdonság van eltárolva, ez az adatlapok mellé táblázatos formában letölthető, így ennek tudatában a kommunikációs protokoll segítségével gyorsan tudjuk változtatni a kívánt értékeket.

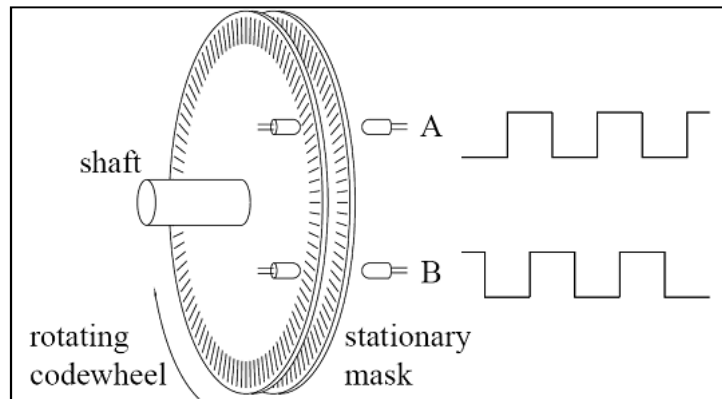
Az tanszéki laborban megvalósított frekvenciaváltó számítógéppel történő kommunikációja a fent leírtakhoz képest jóval egyszerűsödik, hiszen csak egy szolga egységgel kell kommunikálni (frekvenciaváltó), és általában csak a frekvenciaértéket módosítjuk. A frekvenciaváltónak nagyon sok egyéb értékeit lehet állítani, amelyeknek a tároló regiszterei kiolvashatók a letölthető táblázatból: maximális frekvencia, túláram védelem, frekvencia-feszültség karakterisztika, PID állandók, stb. Ezek esetenkénti módosítása is gyorsabb a számítógépes felületen keresztül, viszont a szabályozókör működéséhez csak a frekvencia, illetve fordulatszám állítására van szükség.

A kapcsolat fizikai létrehozásához szükség van egy összekötő kábelre, amelyik a számítógép usb portját összeköti a frekvenciaváltó RJ45-ös csatlakozójával. A frekvenciaváltót gyártó Schneider-Electric cég kínálatában található ilyen kábel, referenciaszáma: **Schneider-Electric TCSMCNAM3M002P**.

A kapcsolat szoftveres megvalósításához létezik egy Labview-ba beépülő kiegészítő modul aminek segítségével a számítógépes felületről adhatók ki utasítások.

#### 4.2.2. Fordulatszámérő

Az előző fejezet megfontolásai alapján látható, hogy a sebességmérés optimális megoldása, hogy a mozgó szalaggal kapcsolatban álló egyik görgő, lehetőleg a feszítőgörgőhöz erősített elfordulásmérő – más néven encoder – jeleiből számítjuk ki a szalag sebességét. Megkülönböztetünk abszolút és inkrementális elfordulásjeladókat. Az előbbinél egy adott szöghelyzethez tartozik egy adott kimenet, míg az utóbbinál kis szögváltozás esetén impulzusok jelennek meg a kimeneten, emiatt a jelből nem tudjuk meghatározni a pontos szöghelyzetet, csak annak a változását. Emiatt az inkrementális encoderek kevesebb célra használhatóak, viszont egyszerűbb kialakításuk miatt olcsóbbak is. Mivel a futószalag vezérlésével kapcsolatos elvárások között a görgő fordulatszámának mérése szükséges és a pontos szöghelyzet teljesen lényegtelen ezért a második típusú szenzor beszerelése a célszerű. Ez a berendezés a rákötött bemenő feszültség hatására a két kimenetén „A” és „B” egymáshoz képest eltolt négyszögjel jelenik meg, amelynek a frekvenciája függ a forgási sebességtől, valamint az encoder beosztásától. A beosztás meghatározza, hogy egy fordulat hány egyenlő részre van osztva. Ez szenzor egy jellemzője, amit a katalógusban előre meghatározott széles skálájú tartományból (2-5000) lehet választani. A kimenő jel amplitúdója a különböző szabványok függvényében változhat, ezek között van állandó amplitúdó kimenetű és van ami a bemeneti feszültségtől függ. Ezt a tulajdonságot is a rendelésnél meg kell határozni.



4.1. ábra Encoder kimenő jelei

Azért van szükség két egymáshoz képest eltolt jelre, mert ebből meghatározható a forgás iránya is, míg egy jelnél csak a fordulatszám nagyságát tudnánk meghatározni. Valamint két egymással eltolt kimenő jel esetén XOR logikai függvény segítségével megduplázzhatjuk az adott elforduláshoz tartozó impulzusszámot, így felére csökken a mérőműszer felbontása, tehát pontosabban meghatározható a szögelfordulás. Magas számú beosztás és nagy fordulatszám esetén a kimeneten megjelenő jel frekvenciája nagyon magas 10-100kHz nagyságrendű is lehet. A fordulatszám, illetve a jel frekvenciájának pontos mérésére két lehetőség van. Vagy egy meghatározott időkapun belül megjelenő fel- vagy lefutó éleket számolja a rendszer ebből közelítve a frekvenciát. A másik módszer, hogy két fel- vagy lefutó él között eltelt időt megmérve következtet a jel frekvenciájára. Az előbbi módszert inkább magasabb a másodikat pedig alacsonyabb frekvenciák mérésére használják. Viszont mindkét esetben az impulzusok nagyon gyors változását kell figyelni. Ez a nagy fordulatszám esetén, a kimeneten megjelenő periódusidő jóval rövidebb lehet egy program futásának ciklusidejénél, ami általában a *ms* tartományba szokott esni. Emiatt mindenféleképpen szükség van egy olyan külső eszközre, amellyel lehetséges az impulzusszámlálás.

### 4.2.3. Impulzusszámláló

Tehát annak elérése érdekében, hogy az encoder kimenetein megjelenő impulzus jel átalakítható legyen a számítógép számára feldolgozható digitális értéké egy köztes egység beépítésére van szükség. Pont ezt a feladatot látják el az iparban elterjedt impulzusszámlálók. Ezeknek nagyon sok típusa létezik, de általánosságban úgy működnek, hogy a rájuk kapcsolt feszültséggel felfutó éleket számolják, amelynek értéke több 10kHz nagyságrendű is lehet. A számolt érték pedig megjelenik a számláló panel kijelzőjén. Az eszközök tápellátása megoldható a hálózati feszültségre kapcsolással. A fejlettebbek verziók esetében két bemenet is található az inkrementális encoderek két kimenete miatt, így a forgásirány is megkülönböztethető, emiatt fel- és lefelé is lehetséges a számolás. Valamint van beépített tachométer funkció, ennek segítségével egyből a fordulatszámmal arányos mennyiség íratható ki ami jelen esetben célszerű. Valamint a belső elektronika segítségével számolt frekvenciát az eszköz kis periódusidő esetén az időintervallum módszerrel, míg nagy periódus idő esetén időmérés segítségével közelíti. Emiatt nagyon nagy mérési pontosságot lehet elérni. A legnagyobb előnye néhány ilyen számlálónak, hogy RS232 porton keresztül képes kommunikálni a külvilággal. Ezáltal lehetővé válik számláló által mért frekvencia beolvasása a számítógépes felületen keresztül. Így a négyszögjel periódusideje ugyan nagyságrendekkel a számítógépen futó program ciklusideje alatt van, mégis az adott ciklusban érvényes frekvencia kerül beolvasásra.



#### 4.2.4. A rendszerbe beilleszthető encoder és impulzusszámláló meghatározása:

A fenti eszközök típusválasztéka nagyon széles, így sok különböző ki- és bemeneti tulajdonságú szenzor valamint számláló található. Ezért a választásnál rendkívül fontos odafigyelni, hogy ezek egymással és a megépített rendszerrel kompatibilisek legyenek, valamint a lehető legjobban eleget tegyenek a megkívánt elvárásoknak.

Az encoder elhelyezésére a már tárgyalt okok miatt két lehetséges megoldás létezik: a hajtótengelyen illetve a feszítőgörgőhöz csatlakoztatva. Az utóbbi esetében a kisebb sugár miatt nagyobb fordulatszámok jelennek meg, valamint az itteni elhelyezés nagyobb mérési pontosságot is eredményez a súrlódási és terhelési tényezők alakulása miatt. Tehát olyan szenzort kell választani, ami megfelel az itt megjelenő fordulatszámoknak.

A feszítőgörgő sugarából és a megkívánt legnagyobb szalagsebességből a fordulatszám:

$$r_{feszítő} = 25 [mm] = 0,025 [m] \quad (4.1)$$

$$v_{max} = 15 \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (4.2)$$

$$f_{max,feszítő} = \frac{v_{max}}{r_{feszítő} \cdot 2\pi} = 95,5 [Hz] = 5729,6 [rpm] \quad (4.3)$$

Tehát maximum 100 Hz frekvenciára kell tervezni a mérőrendszer. Sok encoder esetében a folyamatos forgás esetén a fordulatszám előírt felső határa: 3000 rpm. A laborban működő futószalag esetében azonban folyamatos működés alatt a fordulatszám megközelítheti a 6000 rpm-et így erre ügyelni kell a választásnál. Ezen kívül nagyon fontos még a választásnál, hogy hüvelyes tengelyűnek kell lennie igen nagy 30 mm-nél nagyobb átmérőjűnek, hogy elférjen az álló tengely körül.

Ezen tulajdonságoknak megfelelő encodert nehéz találni, de a következő megfelelő lehet:

-Kübler A02H (Hollow shaft)/Heavy Duty

Tulajdonság	Érték	Mértékegység
Átmérő	∅19...42	mm
Maximális fordulatszám	6000	rpm
Impulzusszám	50, 360, 512, 600, 1000, 1024, 1500, 2000, 2048, 2500, 4096, 5000	imp/ford

4.4. táblázat Encoder adatai 1

	RS422 (TTL)	Push-Pull	Push-Pull (7272)
Tápellátás	5 V (±5%)	10...30 V DC	5...30 V DC
Maximális frekvencia	300 kHz	300 kHz	300 kHz
Magas jelszint	min. 2,5 V	min. $U_b - 3$ V	min. $U_b - 2$ V
Alacsony jelszint	max. 0,5 V	max. 2,5 V	max. 0,5 V

4.5. táblázat Encoder adatai 2

A fenti értékek impulzusszám közül érdemes a lehető legnagyobbat választani, hiszen ennek függvényében növelhető a mérési pontosság, azonban ügyelni kell, hogy a kimenet ne lépje túl a maximális frekvenciát, valamint az impulzusszámláló felső korlátját se. Az elektromos jellemzőket úgy kell megválasztani, hogy azok szintén összhangban legyenek a

számlálóval, és a megadott határokon belül ingadozó feszültségű kimenet esetén se hagyjon ki egy impulzust sem. Látható, hogy push-pull esetben a kimeneti feszültség felső értéke a tápellátástól ( $U_b$ ) függ.

A számítógép soros portjára csatlakoztatható kimenetű frekvenciaváltóknak se olyan hosszú a listája. Az adott feladatnak megfelelő legtöbb szempontból optimális megoldás lehet:

-Kübler Codix 560 LED Multifunction Preset Counter

Tulajdonság	Érték
Funkciók	impulzus, frekvencia, idő
Bemenetek száma	2 ( általában az encoder A és B kimenetéhez)
Maximális frekvencia	60 kHz
Tápellátás	90...260 V AC 10...30 V DC
Szenzornak feszültség táplálás	AC tápellátásnál: 24 V DC DC tápellátásnál: tápellátással megegyezik
Kimeneti kapcsolat	RS232, RS485
Kapcsolati protokoll	Modbus, CR/LF
Külső kiolvasás esetén maximális frekvencia	HTL jelszintnél: 55 kHz 5V-os jelszintnél: 9 kHz
Kimenet válaszideje	40kHz-ig: <100ms 50kHz-ig: <250ms

4.6. táblázat Impulzusszámláló adatai 1

	AC táplálásnál		DC táplálásnál	
	HTL szint	4...30VDC	HTL szint	4...30VDC
Magas jelszint	12...30V DC	3,5...30V DC	0,6 $U_b$ ...30V DC	3,5...30 V DC
Alacsony jelszint	0...4V DC	0...2V DC	0...0,2 $U_b$ V DC	0...2 V DC

4.7. táblázat Impulzusszámláló adatai 2

Tehát a két összeillesztendő eszköz ismeretében, az encoder felbontása a következőképpen választható.

$$f_{max, feszítő} = 95,5 [Hz] \approx 100 [Hz] \quad (4.4)$$

$$f_{max, impulzusszámláló} = 55 [kHz] \quad (4.5)$$

$$\Delta\alpha_{max, impulzusszámláló} = \frac{f_{max, impulzusszámláló}}{f_{max, feszítő}} = \frac{55000 [Hz]}{100 [Hz]} = 550 \left[ \frac{db}{ford} \right] \quad (4.6)$$

Tehát a katalógusban megadott felbontások közül választva az ehhez legközelebb eső, ennél kisebb értéket választjuk:  $\Delta\alpha_{impulzusszámláló} = 512 \left[ \frac{db}{ford} \right]$ .

A ki és bemeneti feszültségértékeket úgy kell kiválasztani, hogy azok ingadozása esetén is biztosan működjön a rendszer. Látható, hogy a szabványos TTL jelszint esetében jóval kisebb feszültségértékek szerepelnek, mint az impulzusszámláló bemenetén várt szintek. Érdemes az encodernél, tehát a 3. lehetőséget – Push-Pull (7272 szabvány) – választani, hiszen itt a legnagyobb a bemenetre köthető és ezáltal a kimeneten megjelenő feszültségértékek tartománya. Szabványos 5V bemeneti feszültség esetén a kimenet a TTL

jelszint szabványainak megfelelő értéket vesz fel, gyakran használt 24V rákapcsolása esetén a kimenő jelek pedig az impulzusszámláló összes bemeneti jeltartományának megfelelnek.

Encoder kimenet Push-Pull (7272 szabvány) esetén		
Tápfeszültség	5 V DC	24 V DC
Magas jelszint	min. 3 V	min. 22 V
Alacsony jelszint	max. 0,5 V	max. 0,5 V
Kompatibilitás	TTL	Mindegyik impulzusszámláló bemenet

4.8. táblázat Encoder Push-Pull kimeneti értékek

Tehát az impulzusszámláló esetén érdemes a váltakozó áramú tápellátású típust választani, mivel ennek az egyik kimenetén megjelenő 24 V DC csatlakoztatható a szenzorra, és annak az adott kimenő a számláló jeltartományába fog esni.

Az encoder felerősítéshez a „with fastening arm long” (hosszú felerősítő kar) az alkalmas megoldás, hiszen ezzel a lemezhez rögzítve lehetővé válik, hogy a feszítés hatására vízszintes irányban el tudjon mozogni a szenzor, de az elforgás akadályozott marad. Az eszköz rögzíthető, de mégis 51 mm szabad mozgásra van lehetőség, valamint a lemezen kialakított görbített rész lehetővé teszi a rugózást, így az esetleges tengelyhibák nem okoznak károsodást az eszközön.

A kábeles és csatlakozós kivezetések közül, az előbbi választása érdemes, mert az adatlapon leírt kábelkiosztás tudatában könnyedén az impulzusszámláló bemeneti csatlakozóihoz lehet illeszteni a megfelelő kimeneteket.

Összegyűjtve a beszerzendő eszközökhöz szükséges adatokat, megadva a rendelési számukat:

Konstrukció	Választott típus	Rendelési szám
Encoder	Kübler (Hollow shaft)/Heavy Duty	A02H
Rögzítés	Hosszú karral történő	5
Hüvelyes tengely átmérő	42 mm	1
Kimeneti jelek	Push-Pull (7272 szabvány)/ 5...30 V DC	A
Kapcsolat	Radiális kábel	1
Felbontás	512	0512

4.9. táblázat Választott encoder adatai

A teljes rendelési szám: **Kübler 8.A02H.51A1.0512**

Az impulzusszámlálóhoz is hasonló módon megadva a rendelési számot:

Konstrukció	Választott típus	Rendelési szám
Impulzusszámláló	Codix 560	560
Tápfeszültség	90...260 V AC	0
Bemeneti jelek	Standard HTL szint	0
Digitális kimenet	RS232	5

4.10. táblázat Választott impulzusszámláló adatai

A teljes rendelési szám: **Kübler 6.560.010.005**

### 4.3. Hibák előrejelzésére szolgáló és kiegészítő eszközök

Az előző fejezetben leírtak alapján a jövőbeli fejlesztések egyik állomása lehet olyan alrendszer kidolgozása, amik lehetővé teszik a biztonságosabb működést. Az eszközök pontos ki- és bemeneti tulajdonságaik változhatnak az ellátandó feladat függvényében.

- Szalag pontos helyzetét ellenőrző optikai rendszer: Az egyik lehetséges megvalósítás, hogy egy bináris értéket ad a kimeneten. 1 ha a szalag jó helyen van, 0 ha nem. Ilyenkor egy digitális I/O port elég ennek a jelnek a fogadására. Erre viszont mindkét oldal esetén szükség van. A másik lehetőség, ami bonyolultabb szenzort, és kialakítást tesz szükségessé, hogy a kimeneten a pontos helyzettől való eltéréssel arányos analóg jel jelenik meg. Ennek a segítségével egy feszítést szabályozó rendszer is kiépíthető lenne.
- Hőmérsékletmérő szenzorok: Ezeknek is a fentiekhez hasonló két féle megvalósítás képzelhető el. Az egyiknél egy analóg jellel arányos hőmérséklet értéket viszünk be a számítógépbe. A másik lehetőség, hogy úgy állítsunk be a szenzor és az digitális I/O port feszültségértékeit, hogy egy határfeszültség esetén a digitális jel váltszon, ezzel jelezve a veszélyes hőmérséklet elérését.
- Nyomógombok, vészleállító gombok mindenféleképpen egy kétértékű jel továbbítására van szükség.

### 4.4. A szabályozáshoz szükséges eszközök ki és bemeneti jellemzőinek összegzése

A fenti eszközök lényeges tulajdonságait egy táblázatban összegezzük:

	Eszköz	Szenzor/ Aktuátor	Tápellátás	Kapcsolat típusa	Ki- / bemeneti feszültség
Szélcsonna	Nyomástávadó	Sz	24 V DC	Analóg	-2,5...+5V DC
	Digitális hőmérő	Sz	9 V DC/ 230V AC	RS232	
	Barométer	Sz	9 V DC/ 230V AC	RS232/ Analóg	0...+1 V DC
	Ventilátor vezérlőjel	A	-	Analóg	0...+10 V DC
Futószala	Frekvenciaváltó jelátalakító kábellel	A	-	USB	-
	Encoder	Sz	10...30 V DC	Digitális	0,5 ; $U_b$ -2 V DC
	Impulzusszámláló	Sz	90...260 V DC	RS232	
Egyéb	Optikai pozícióérzékelő	Sz		Analóg/ Digitális	
	Hőmérsékletmérők	Sz		Analóg/ Digitális	
	Nyomógombok	Sz		Digitális	

4.11. táblázat Ki- és bemenetek összegzése 1

Látható, hogy mindenféleképpen szükség van egy analóg és digitális ki- és bemenetek kezelésére szolgáló külső, számítógéphez csatlakoztatható eszközre. Valamint a használandó számítógépnek rendelkeznie kell USB és RS232 csatlakozókkal, bár ezek

bizonyos kábel segítségével átalakíthatóak egymásba Ezek a különböző kapcsolatok számszerűen a következők:

Kapcsolat	Darabszám
Analóg bemenet	1+
Analóg kimenet	1
Digitális bemenet	3+
RS232	3
USB	1

4.12. táblázat Ki- és bemenetek összegzése 2

#### 4.5. A meghatározott mérő és jelátalakító eszközök összeillesztése

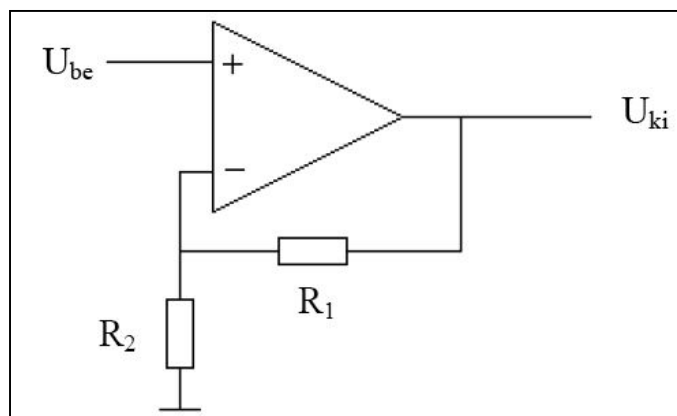
A tanszéki laborban több konstrukció esetében is használnak analóg és digitális adatok gyűjtésére valamint előállítására a Labview szoftvert fejlesztő National Instruments által tervezett külső adatgyűjtő kártyát. Ezek a számítógép USB portján keresztül könnyen kezelhetően kommunikálnak a Labview szoftverrel. A fenti feltételeket kielégítő ilyen adatfeldolgozó egyik leggyakrabban használt egység: **NI USB-6008**

	Darabszám	Feszüléstartomány
Analóg bemenetek	8	-10V...+10V
Analóg kimenetek	2	0...5V
Digitális ki/bemenetek	12	0...5V

4.13. táblázat NI USB-6008 Be- és kimenetei

##### Erősítő használata a kimenethez

Látható, hogy a fent meghatározott feltételeket kielégíti az adatgyűjtő eszköz, valamint jövőbeli fejlesztéseknek is utat hagy, hiszen a kihasználtsága nem lenne teljes a most tervezett eszközökkel. A be és kimenetek feszüléstartományába beleesnek a fent meghatározottak, egy kivételével. Az adatgyűjtő kártya analóg kimenetén maximum 5V. Azonban a szélcsatorna vezérlőjele a 0-10V tartományba esik, ezért szükség lesz egy  $A_u=2$  feszültségerősítésű egyszerű műveleti erősítőre. A neminvertáló erősítő alapkioscsolása:



4.2. ábra Neminvertáló erősítő alapkioscsolás

Ebben az esetben  $R_1$  és  $R_2$  értékét azonosnak választva elérhető a kívánt erősítés, hiszen:

---

$$\frac{U_{ki}}{U_{be}} = A_u = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (4.7)$$

A megvalósításnál érdemes nagy ellenállásértéket alkalmazni:  $R_1 = R_2 = 100k\Omega$ . Illetve a műveleti erősítő tápforrásának a kívánt kimeneti 10V-nál nagyobb feszültséget használni. Erre a célra megfelelő lehet a más eszközökhöz is megkívánt 24V.

#### Encoder közvetlen bekötése az adatgyűjtő kártyába

A kiválasztott NI USB-6008 eszköz adatlapját vizsgálva láthatjuk, hogy az analóg, valamint digitális ki- és bemenetek kezelésén kívül rendelkezik még számláló funkcióval is. 1 db ilyen bemenet található, ami a szabványos TTL jelszinteket használja és legfeljebb 5 MHz frekvenciájú impulzusok számolására képes. Ez lehetővé teszi, hogy a fordulatszám mérő kijövő jelét a fent említett impulzusszámláló helyett ebbe az adatfeldolgozó egységbe kössük. Ebben az esetben az encoder tápforrásához nem 24 V hanem 5 V feszültségre van szükség, hogy a kimeneten a TTL szabványnak megfelelő kimenet jelenjen meg. A másik módszerrel összehasonlítva:

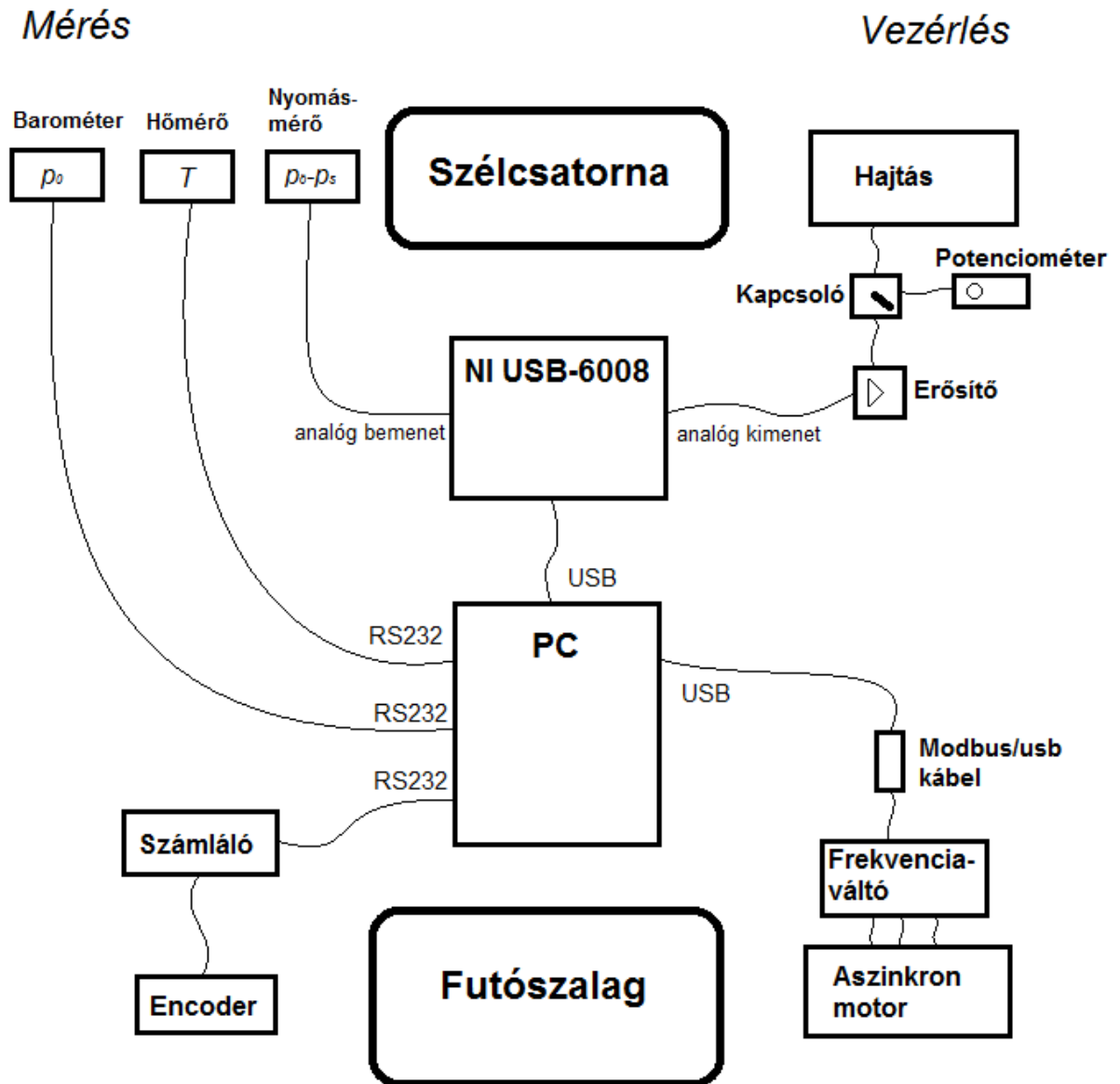
Előnyök:

- Nem kell külön eszköz az impulzusszámláláshoz, így egyszerűbb és olcsóbb a technikai megvalósítás.
- Majdnem 100-szor nagyobb frekvenciatartományban lehet mérni, bár ekkor már a szenzor frekvenciahatára a mérvadó.

Hátrányok:

- Csak egy csatorna van, tehát a forgásirány nem különböztethető meg. A jelen alkalmazás esetében ez nem feltétlenül hátrány, csak szoftveresen meg kell oldani az értékek negálását fordított menet esetén. 0 környéki sebességek esetén viszont problémát okozhat a szabályozásnál.
- Az impulzusszámlálás valósul meg csak a külső eszközön. A fordulatszám kiszámításához ennek az értéknek a deriválására –illetve ennek közelítésére - van szükség, amihez viszont nagyon pontosan kell ismerni két beolvasás között eltelt időt. Ez bonyolítja a szoftvert és pontatlansághoz vezethet.

#### 4.6. Az eszközök közötti kapcsolat szemléltetése



4.3. ábra Mérő és beavatkozó eszközök kapcsolatainak szemléltetése

---

## 5. LABVIEW KÖRNYEZETBEN MEGTERVEZETT VEZÉRLŐRENDSZER BEMUTATÁSA

A szélcsatorna és a futószalag pontos működéséhez szükséges szabályozás implementálásának végső eleme a számítógépes szabályozó és irányító program megtervezése. Olyan számítógépes felület tervezése a cél amelynek segítségével a már megfogalmazott legáltalánosabb feltételeknek is eleget tudjon tenni. A rendszernek a szélcsatorna és a futószalag szabályozását külön-külön és együttesen is meg kell tudni oldania. A tervezett programmal feladatai:

- Szenzoroktól érkező jelek beolvasása és feldolgozása.
- Különböző szenzorok engedélyezése, vagy manuális adatbevitel.
- Mért jelek kalibrációval történő módosítása.
- Kalibráció jellemzőinek módosítása.
- Elérni kívánt levegő- és futószalag sebesség meghatározása.
- Ezek összekapcsolása, vagy külön változtatásuk.
- Szabályozó értékek számítása mindkét rendszerre.
- Szabályozás jellemzőinek manuális beállítása.
- Meghatározott vezérlőjelek küldése analóg és digitális kimeneteken keresztül.

### 5.1. A program bemutatása

Az irányítópanelon 4 fül található, amikkel elérhetőek a fent meghatározott beállítási lehetőségek. Ezeken végighaladva bemutatatható a program működése.

#### 5.1.1. Rendszer vezérlése - Főképernyő

Itt van lehetőség a kívánt levegő és futószalag sebesség beállítására, valamint a szenzorok által mért jelek, valamint az azokból számolt tényleges sebességeket is folyamatosan kiírja a rendszer. A két sebesség meghatározására több féle módszer adható meg:

Szélcsatorna:

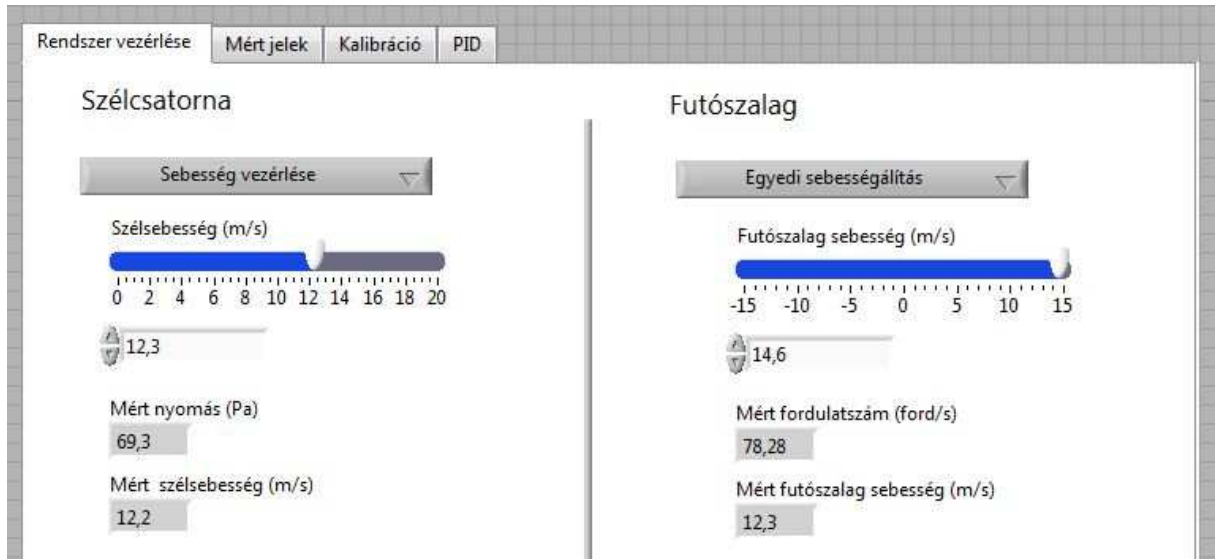
- Sebességmérés: Ilyenkor a sebesség meghatározására szolgáló mező eltűnik és csak a mért sebességértékek kerülnek kiírásra. Erre akkor lehet szükség, ha a rendszer egy másik szélcsatornához csatlakozik, és nincs lehetőség a vezérlésre.
- Sebesség vezérlése: Az itt beállított értéket próbálja meg elérni a megépített szabályozókör. A kívánt érték beállítható numerikusan és a csúszkán is.

Futószalag:

- Futószalag ki: Mozgó talaj nélküli kísérletekhez, a vezérlőjel ilyenkor 0-ra van állítva. A szenzor még így is aktív, tehát másik hatás eredményeképp létrejött mozgás észlelhető.
- Mért szélesebességhez állítás: A szabályozás alapértékének a szélcsatornában mért sebességet állítja, ami esetleg időben változhat.
- Állított szélesebességhez állítás: A szélcsatornánál meghatározott sebességértéket adja meg alapértékként. A későbbi felhasználás során ez tűnik a legkézenfekvőbb vezérlési módnak. A funkció inaktív, ha a szélcsatorna esetében csak a mérés van beállítva.

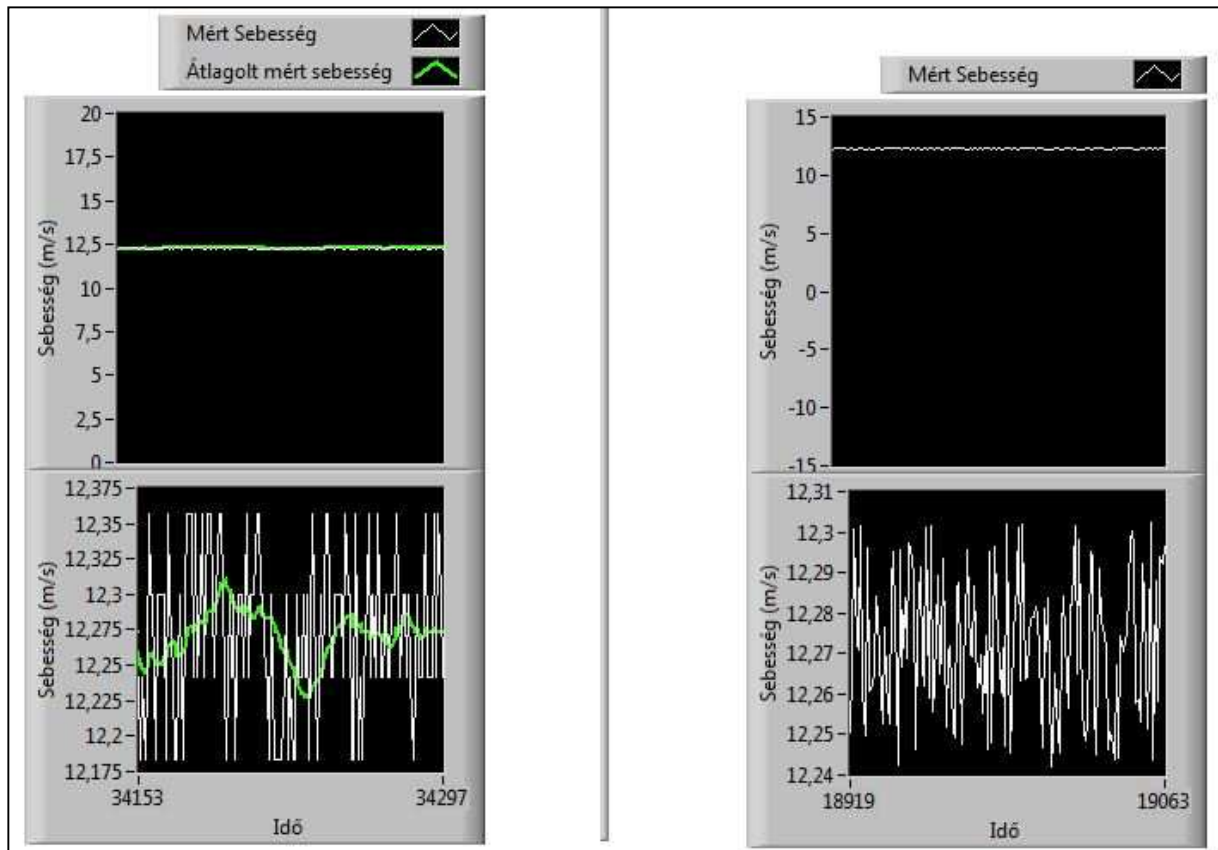


- Egyedi sebességállítás: A szélcsatornától teljesen független sebesség beállítása, így akár ellentétes irányú mozgás is megadható. Csak ennél a funkciónál jelenik meg a csúszka és a numerikus bevitelre szolgáló rész.



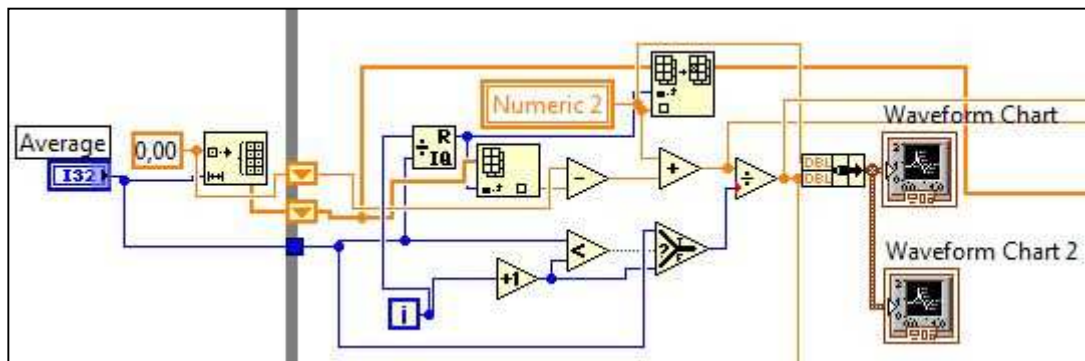
5.1. ábra Szoftver - Főképernyő

Ugyan ezen a lapon grafikusán is ábrázolva vannak a mért sebességek mindkét rendszerre abszolút és relatív skálázással is. A szélsebességnél a leolvasást segíti, hogy az mozgó átlagolt értékek is ki vannak rajzolva. Erre itt azért van szükség, mert a nyomásméréssel számolt sebesség jóval ingadozóbb tud lenni, mint ami valójában, valamint ha a szélsebességet állítjuk be a futószalag alapjelének, akkor egy nagyon gyorsan változó jelet próbálna meg követni a szabályozó, ami megzavarhatja a működését.



5.2. ábra Mért sebességek grafikonjai

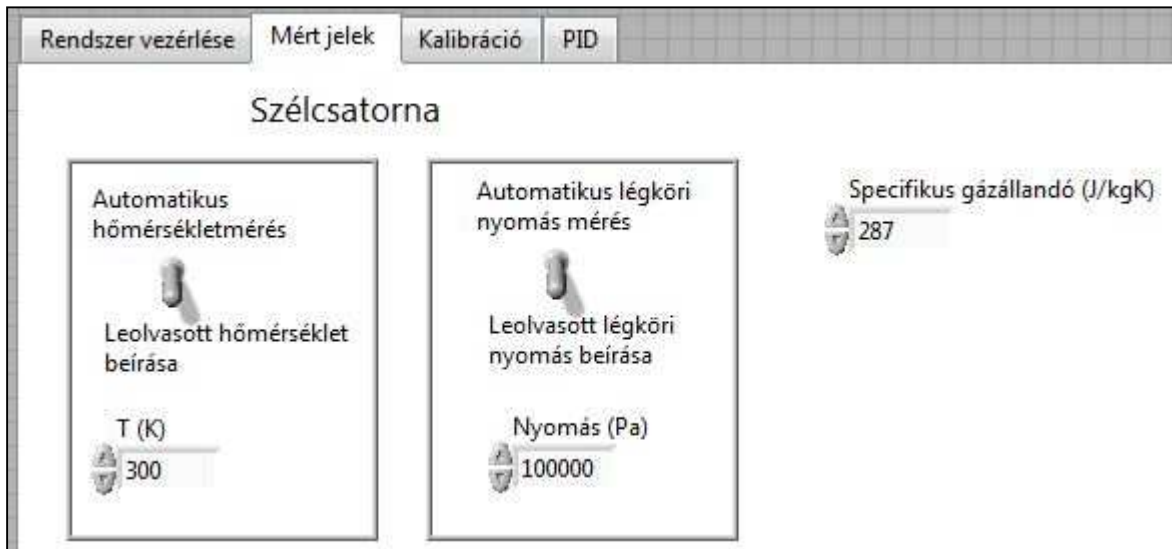
A mozgó átlagolás pontjainak számát szintén be lehet állítani, ennek alapértéke: 25. Ez a programrészlet tehát az előző  $n-1$  futás valamint a jelenlegi mért érték átlagát írja ki, minden egyes ciklusban, ahol  $n$  a beállított átlagolás száma.



5.3. ábra Mozgó átlagolást megvalósító rész blokk-diagramja

### 5.1.2. Mért jelek:

A második fülön a szélcsatornában áramló levegő sebesség meghatározásához szükséges, annak nagyságától nem függő értékek határozhatóak meg. Ezek a laborban uralkodó légköri nyomás, hőmérséklet, valamint a specifikus gázállandó. A hőmérséklet és a légnyomás esetén lehetőség van egy kapcsolóval váltani manuális beírás és automatikus mérés között.



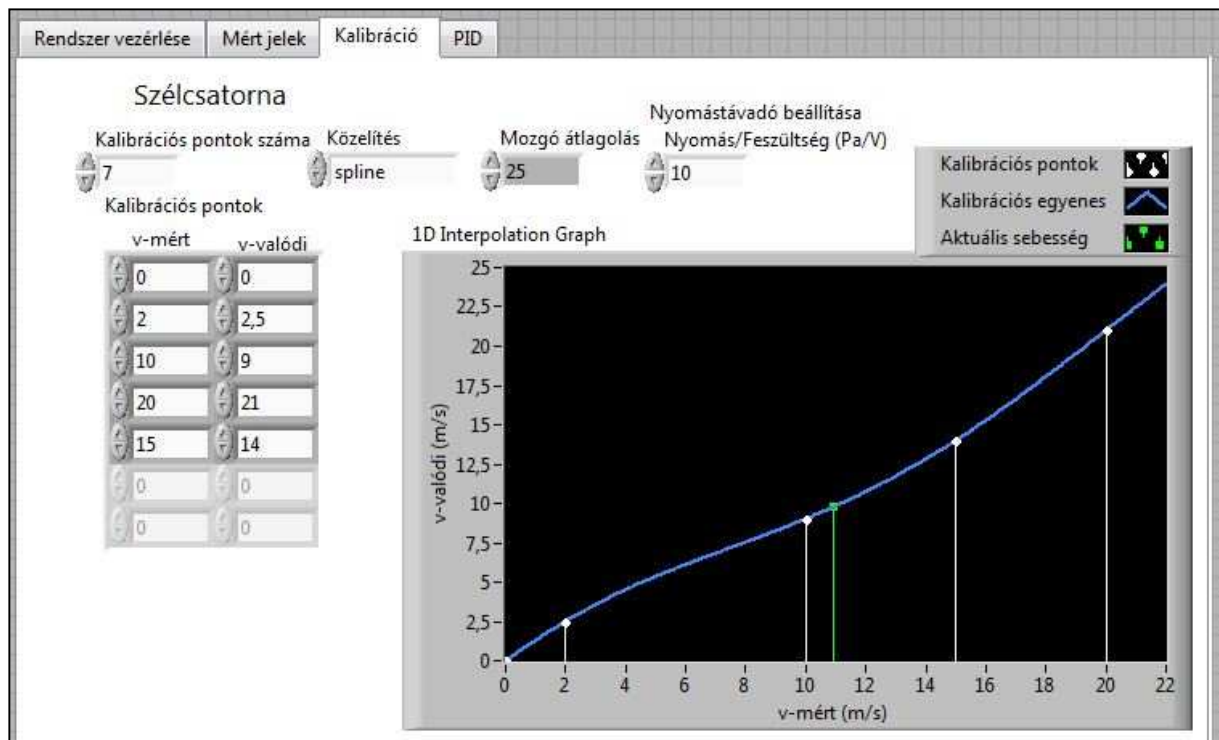
5.4. ábra Szükséges értékek beolvasása történhet automatikusan, vagy manuálisan

### 5.1.3. Kalibráció:

Ennél a résznél lehetőség van a rendszer által mért jelek kalibrációval történő módosítására. A szélesség esetében lehetőség van a nyomásmérésen alapuló sebesség meghatározásának kalibrálásához egy nagyobb pontosságú mérőberendezés segítségével. Különböző vezérlőjelek esetén mind a két módszerrel megmérve a szélességet egy kalibrációs görbe határozható meg. A programban akármennyi kalibrációs pontot fel lehet venni, tetszőleges sorrendben. Tehát nem szükséges növekvő sorrendben ezeket feltölteni, a szoftver ezt megteszi, és úgy köti össze a grafikonon lévő pontokat. Két pont közötti értéket intrapolálással lehet meghatározni, melyhez három féle módszer közül lehet választani:

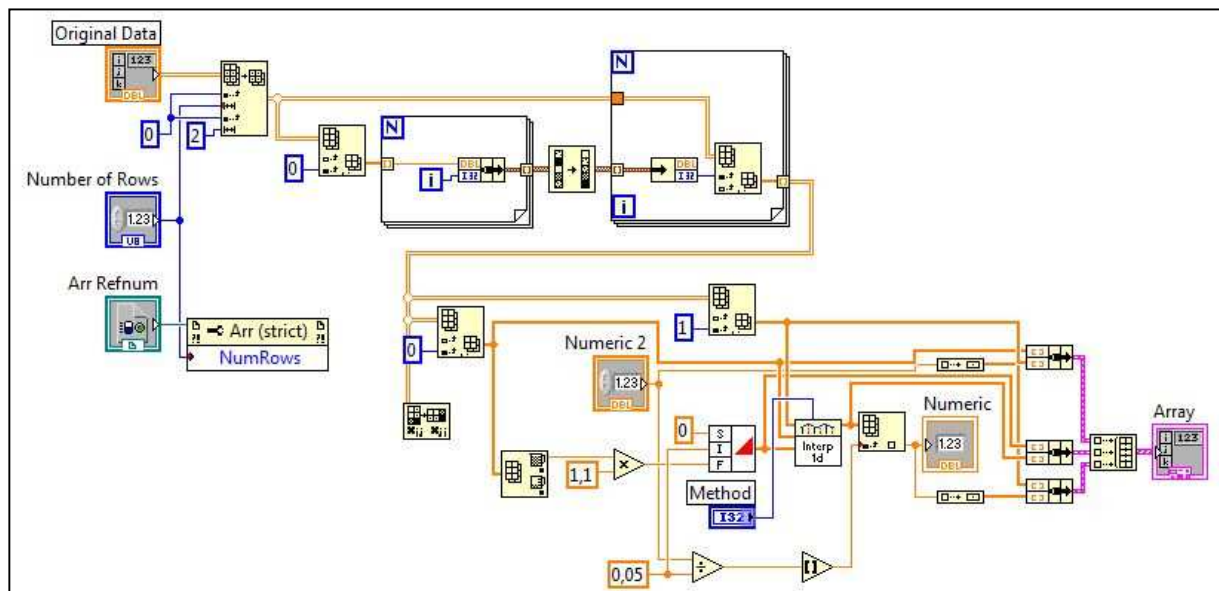
- Legközelebbi kalibrációs pont
- Lineáris közelítés
- Spline közelítés

A kalibrációs grafikonon folyamatosan frissül a görbe a beállítások és a felvett kalibrációs pontok hatására, valamint a mért sebesség is látható. Ezen kívül lehetőség van még a nyomásmérő nyomás/feszültség értékének beállítására, amire akkor lehet szükség, ha másik nyomásmérőt csatlakoztatunk a rendszerhez.



5.5. ábra Szélsebesség kalibrációja

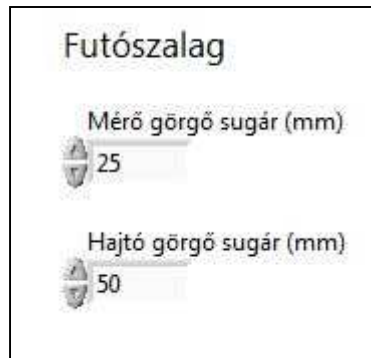
A kalibrációs számítások egy subVI segítségével történnek, ami egy már meglévő rész továbbfejlesztése. Ez először növekvő sorrendbe rakja a bevitt pontokat, majd a kiválasztott módszer segítségével meghatározza a pontok között lévő interpolált értéket. Ezek után az eredeti, a kalibrációs és az aktuális pontokat ábrázolja.



5.6. ábra Kalibrációt megvalósító blokk-diagramja

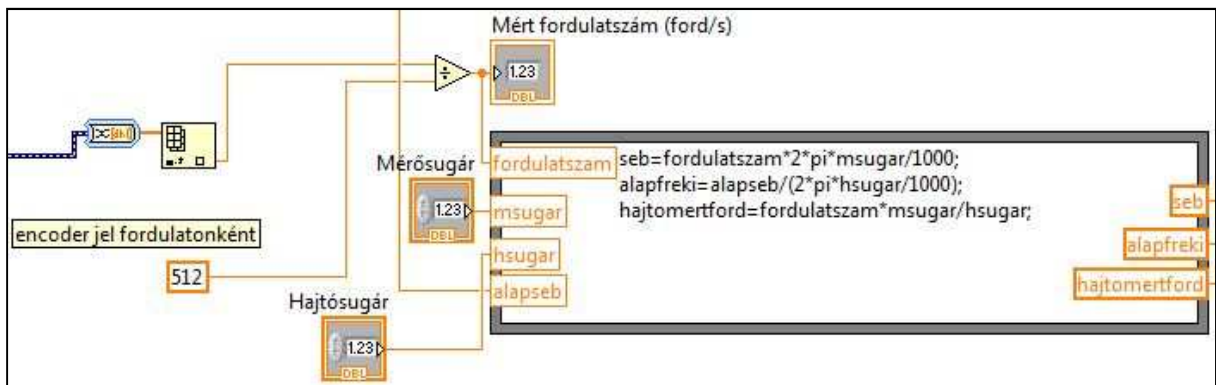
A futószalag esetében lehetőség van a hajtó- és a feszítőgörgő sugarainak beállítására. Ez, a futószalag sebességének kiszámításához a fordulatszámából elengedhetetlen, viszont értéke változhat új görgők, vagy szalag esetén. Illetve meghatározása nehézkes, mivel a görgő hordós alakú, valamint a szalag vastagsága miatt is inkább a görgőnél nagyobb

sugáron fordul a szíj. Ezeknek az értékeknek a pontos beállítására a működő rendszer esetében kalibrációs mérések után lehetséges.



5.7. ábra Görgők sugarának beállítása a kalibrációhoz

A szalag sebességének meghatározása a mérő görgő sugarának, valamint az impulzusszámlálóból érkező jelnek ismeretében lehetséges. Az impulzusszámlálóból érkező jelet le kell osztani az encoder beosztásainak számával, ami a választott esetben: 512. Így kapunk fordulatszám értéket. (Hz-ben)



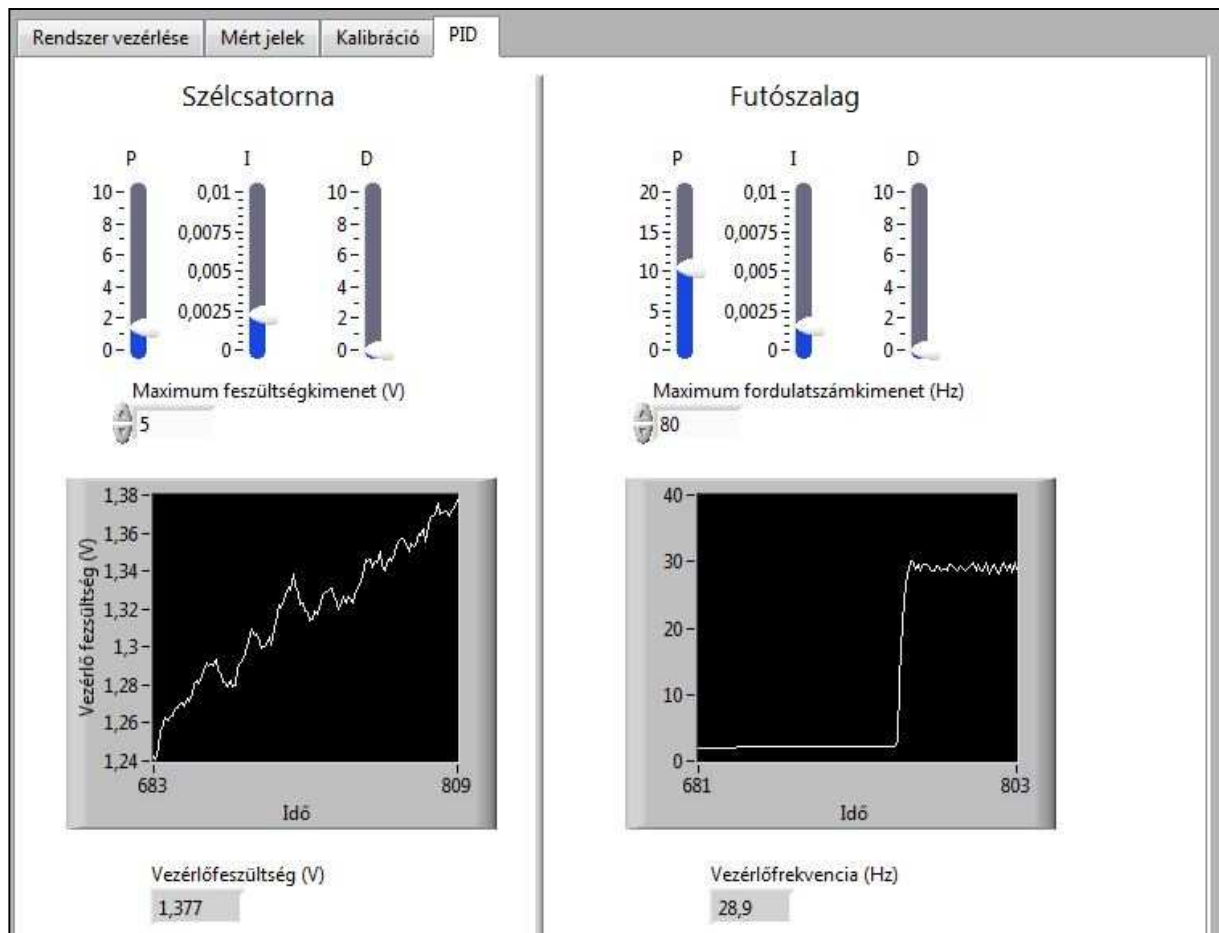
5.8. ábra A szalagsebességet, és a vezérlőjelet számító rész blokk-diagramja

#### 5.1.4. Szabályozó szakasz:

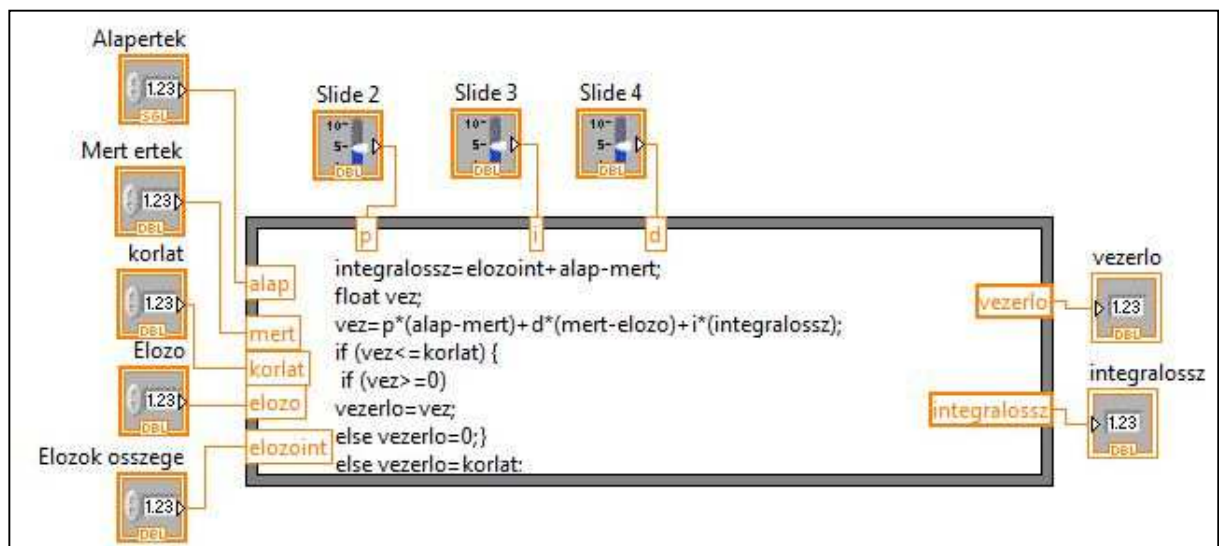
A rendszer egyik leglényegesebb eleme a szabályozó szakasz. Ennek megvalósításához egy PID szabályozót alkalmaz a program, amit az általam készített subVI valósít meg. Be kell állítani a P, I és D erősítés értékeit, amelyek közül a D-re nem nagyon van szükség, hiszen ez a beállítás kezdeti gyorsaságát növeli, ami viszont nem szerepelt az elvárások között, csak a stabil és pontos futás. Ezen kívül szükség van az alapértékre, valamint a mért jelre a szabályozás működtetéséhez. Az I és D tagok működéséhez szükség van az előző ciklus mért adataira, valamint ezek összegére az integráló taghoz. Ennek megoldására shift regisztereket alkalmaztam, amik a cikluslépések közötti adatátvitelre alkalmasak. A kimenő jel ezek alapján minden futás alkalmával számítható. Biztonsági elemként egy maximum érték is megadható, ami a kimeneten megjelenhet. Ezzel megvédve a szabályozandó szakaszt a bemenetére jutó túl nagy értéktől. A megfelelő beállítandó értékeket az összeszerelt rendszer tesztelése során lehet majd meghatározni.

A két rendszerre (szélcsatorna és futószalag) külön-külön szabályozó kör működik, amelyekhez a szabályozási paramétereket is függetlenül tudjuk beállítani. Amennyiben a főoldalon „szélsebesség mérése”, vagy „futószalag ki” funkciót választunk, úgy értelem

szerűen eltűnik a szabályozó beállításának lehetősége és a vezérlőjel automatikusan 0-ra változik.



5.9. ábra PID szabályozó állítása és a kimenő vezérlőjel



5.10. ábra PID szabályozó blokk-diagramja



### 5.1.5. Modbus vezérlés:

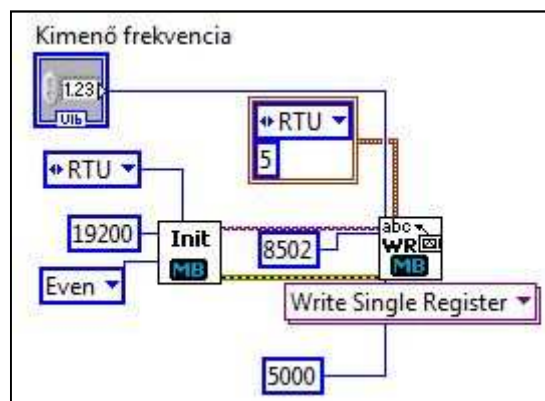
A frekvenciaváltó modbus protokollon történő vezérlése megoldható egy letölthető Labview kiegészítő segítségével. A kommunikáció helyes működéséhez feltétlenül szükséges, hogy a mester (számítógép) és a szolga (frekvenciaváltó) eszközön a következő paraméterek megegyezzenek. Ezen adatok gyári értékei a frekvenciaváltóhoz tartozó modbus kapcsolat adatlapjáról megtudhatóak, illetve ezek változtatására is lehetőség van. Azonban a beállított értékekhez a szoftverben beírtaknak mindenképpen meg kell egyeznie.

- Kommunikációs mód: RTU / ASCII. A frekvenciaváltó csak RTU (Remote Terminal Unit) módban képes kommunikálni.
- Baud-rate: kommunikáció jel/sec értéke. Gyári beállítás:19200.
- Paritásbit: A küldött kérések végén mindig elhelyezkedik egy ellenőrző rész, aminek a segítségével növelhető a hibák észrevétele. A katalógusból a kommunikáció kerete: 8E1, ahol a középső betű határozza meg a paritást, így az „Even” tehát páros.
- Szolga cím (slave address): Ez állítható 1 és 31 között, 0 értéket a mester kapja. A gyári beállítás esetében a frekvenciaváltó címe 0, így ez mindenféleképpen meg kell változtatni.

Amennyiben a fenti értékek megegyeznek, akkor sikeresen létrehozható a kapcsolat, aminek segítségével a modbus táblában megadott értékek kiolvashatóak és változtathatóak. Ehhez a további adatokra van szükség:

- Address: az a hely, ahol az adat tárolva van. Ez a beállítandó frekvencia esetén: **8502**.
- Holding Regiszter: az új beírandó érték. Ebben az esetben a vezérlőjel értéke.
- Time-out: Az a meghatározott időintervallum, aminél tovább a mester nem vár a szolga válaszára.

Tehát a kapcsolat működéséhez szükség van egy inicializáló blokkra, valamint egy olyanra, ami a kívánt helyen megváltoztatja az értéket.



5.11. ábra Modbus kommunikáció blokk-diagramja

### 5.1.6. Vészleállító gomb:

A szoftveres felületen található egy vészleállító gomb, aminek a megnyomásakor nem áll le a program futása, csak a főképernyőn található vezérlési funkciókat „szélsébség mérés” és „futószalag ki” állapotba kapcsolja. Erre akkor lehet szükség, ha a vezérlőparaméterek, vagy más értékek állítása során a rendszer túl instabilan kezd el

---

működni és emiatt veszélyezteti annak épségét. Ilyenkor a gomb megnyomásának hatására a vezérlőjelek 0-ra változnak, így elkerülhető a károsodás. A jövőben érdemes lenne ezt az elemet egy tényleges vészkapcsolóra kicserélni.

#### **5.1.7. Program tesztelése:**

Mivel a program írásakor nem álltak rendelkezésemre a szükséges fizikai eszközök a teszteléshez, ezért a mért bemenő jeleket szimulációs blokkok segítségével helyettesítettem. Illetve a vezérlőjelek vizsgálatára is csak szimulációs felületen volt lehetőségem. Amennyiben a mérő és jelfeldolgozó egységek beépítésre kerülnek, a szimulációs blokkokat ki lehet cserélni a „*Measurement & Automation*” kiegészítő szoftver be- és kimenő jel adataival, valamint a CR/LF és a Modbus protokoll vezérléséhez szükséges egységekkel.



## 6. ELVÉGZENDŐ MÉRÉSEK, KALIBRÁCIÓK ÉS TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A megfelelő hardverek beszerelése után szükség lesz a rendszer beállításainak módosítására, valamint a stabil működéshez szükséges szabályozási paraméterek megválasztására.

A robosztus és biztonságos működés mellett még szükség van a rendszer kalibrálására, hogy minél pontosabb beállítás legyen elérhető. A két rendszert külön-külön és együttes kalibrációjára is szükség van.

### 6.1. Szélcsatorna kalibráció

A szabályozást vezérlő Labview program segítségével lehetőség van a nyomásmérésre visszavezetett sebesség számításának kalibrációjára. Ehhez egy nagy pontosságú eszközre (például: Lézer doppler anemométer) van szükség. A kívánt sebességskálán minél több pontra beállítva a sebesség alapjelét, a nagy pontosságú műszerrel mért eredményt meg kell adni a kalibrációs görbénél. A PID vezérlő paraméterek helyes megválasztása esetén a kalibráció után szélcsatornában mért szélesebbesség jó közelítéssel el fogja érni a kívánt értéket. Fontos megjegyezni, hogy a csatornában lévő légáram ingadozhat, valamint a keresztmetszeten változhat a sebességeloszlás. Tehát a rendszer fizikai paraméterei nagyban meghatározzák az elérhető pontosságot, azonban ezzel a módszerrel bőven túlléphető a potenciométeres beállítás által elérhető pontosság.

### 6.2. Futószalag kalibrációja

Az encoder segítségével ugyan nagyon pontos fordulatszám értékek mérésére van lehetőség, azonban a szalagsebesség meghatározásához még szükség van a megcsúszásmentes állapothoz, valamint számításhoz szükséges sugárhoz. Az előbbit kellően nagy feszítőerővel biztosítani lehet, bár így is fenn áll a lehetősége a nem teljes mértékben együtt mozgásnak, mivel rugalmas szalagról van szó. A szalag görbületi sugara azonban nem teljesen nyilvánvaló, hiszen a görgők kissé hordós alakúak, ezért nem lehet tudni, hogy a szalag hol fekszik pontosan, valamint a szalag vastagsága is változtat az értéken, hiszen valószínűleg ennek a középvonalánál kell számítani a sugarat.

Emiatt a szélcsatornához hasonló módon olyan eljárásra van szükség, amivel ennél pontosabban mérhető a szalag valódi sebessége, és ehhez kalibrálva a beépített mérést, a kívánt sebességhez történő pontosabb beállítás érhető el. Erre két módszert említenék:

#### 6.2.1. Stroboszkóp:

Egyik lehetséges kalibrációs módszer, hogy meghatározott sebesség esetén kiszámolható, mekkora időközönként halad el a futószalag egy kitüntetett pontja egy adott keresztmetszeten. A szalagra egymástól egyenlő távolságra jelölőcsíkokat ragasztva adott sebesség esetén azok ugyanakkora periódusidőnként jelennek meg. Tehát a szalagsebesség és a jelek távolsága meghatározza, hogy mekkora az adott pont mellett elhaladásuk periódusideje.

$$T_{stroboszkóp} = \frac{v_{szalag}}{s_{jel}}$$

---

Egy stroboszkópot erre az értékre állítva és megvilágítva a szalagot, amennyiben a jelek minden felvillanáskor ugyan ott helyezkednek el a sebesség tényleg pontosan van beállítva. Ha mindig egy picit hátrálnak, akkor túl lassú, míg ha előrefelé haladnak akkor túl gyors a szalag sebessége a megkívánthoz képest. A módszer hátránya, hogy pontosan kell hozzá ismerni a jelölő csíkok egymás közötti távolságát, ami változhat az előfeszítés hatására. Így lehet, hogy az encoderrel mért sebességnél akár rosszabb pontosságú eredményt kapunk.

### **6.2.2. Nagy sebességű videokamera:**

Bár a tervezés során kizártuk a sebesség ilyen módszerrel történő mérését a költségek és a kihasználatlanság miatt, a kalibrálási folyamathoz megfelelő eszköz lehet. A kamerát a szalag fölé helyezve a szélcsatornához hasonló módon kalibrálható a sebesség. Különböző beállított sebességeknél meg kell mérni a két módszerrel a sebességeket, majd a mérőgörgő sugarának a számítás során használt értékét úgy kell állítani, hogy a két mérés eredménye minél közelebb essen egymáshoz.

Ez az előzőnél jóval költségesebb és eszközigényesebb eljárás, azonban jóval nagyobb mérési pontosság érhető el vele.

### **6.3. A két rendszer együttes kalibrálása**

A szélcsatorna és a futószalag szabályozó rendszerei működésének végső próbája, hogy együttes használat esetén megfelelnek-e annak a célnak, amire tervezték őket. Akkor működik jól a rendszer, ha a függőleges sebességprofil egyenes, vagyis a talajtól mért távolságtól nem függ a sebesség nagysága. Ez azt jelenti, hogy megszűnik az eddig álló talaj miatt létrejött határréteg. A NASA által végzett kísérletek hasonló jellegű eredményein láthatjuk, hogy jó működés esetén ez a viselkedés megjelenik, tehát mérőberendezés megfelel a célnak. Amennyiben az áramlási és a szalagsebesség jó közelítéssel megegyeznek, előfordulhat, hogy nem az elvárt sebességprofil jelenik meg. Ennek oka a szalag illeszkedése a csatornához, illetve a szalag előtt lévő már kialakult határréteg lehet. Ezen hatásokat minél jobban csökkentve hirtelen változó felületek hanyagolásával, illetve határréteg elszívással jó eredmények érhetőek el. A különböző vízszintes légrétegek sebességértékét mérve, valamint a kapott eredményeket elemezve újabb javító módszerek adhatóak.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] TURNER, THOMAS R.: A moving-belt ground plane for wind-tunnel ground simulation and results for two jet-flap configurations. NASA Langley Research Center (1967)
- [2] GLEENSLADE, REX: The Answer is Blowing in the Wind. Wind Tunnel International (2009) 14-19
- [3] CARVER, S., SENFT, V.: Five Key Belt Technologies for Large-Belt, High-Speed Rolling Road Wind Tunnel Testing. Wind Tunnel International (2009) 156-158
- [4] GREENSLADE, R.: BMW's New Wonder. Wind Tunnel International (2010) 119-121
- [5] VOGT, H DR.: Horiba Wind Tunnel Balance System for Vehicle Aerodynamic Development. Wind Tunnel International (2009) 129-135
- [6] OKAYAMA, T., FUNAKI, J., HIRATA, K.: Development and basic characteristics of moving belt in wind tunnel
- [7] LUFF, C.: Do I Burn More Calories Running Outside or on a treadmill? About.com. (July 5, 2009)
- [8] NordicTrack Powertread 1500. User's Manual
- [9] LEWIS, A.: Morocco's fish fight: High stakes over Western Sahara. BBC News. 15 December 2011.
- [10] <http://www.automation.siemens.com/w1/automation-technology-speed-sensors-17511.htm>
- [11] <http://www.dematic.com/crossbelt-sorter>
- [12] LAJOS TAMÁS: Az áramlástan alapjai, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kara
- [13] VAD JÁNOS: Korszerű áramlásmérés, Előadásjegyzet (2012)
- [14] NAGY ISTVÁN: Elektromechanika, Előadási jegyzet 4. fejezet (2011)
- [15] BOSCH, TEN: Gépelemek, Műszaki könyvkiadó (1957) 507-519
- [16] <http://www.esreality.com/index.php?a=longpost&id=1300293&page=4>
- [17] [http://www.overclock.net/t/1200330/how-good-is-adns-7550#post\\_16213344](http://www.overclock.net/t/1200330/how-good-is-adns-7550#post_16213344)
- [18] <http://pcforum.hu/szotar/?term=master-slave>

---

## **MELLÉKLET**

Aszinkron motor adatlap (4 oldal)

Szík adatlap (1 oldal)

Frekvenciaváltó adatlap (2 oldal)

Frekvenciaváltó Modbus paraméterek (3 oldal)

Encoder adatlap (5 oldal)

Impulzusszámláló adatlap (2 oldal)

Adatgyűjtő kártya adatlap (5 oldal)

CD rajta az összes melléklettel, valamint a megvalósított szoftverrel