

UNIVERZA V NOVI GORICI  
POSLOVNO-TEHNIŠKA FAKULTETA

**IDENTIFIKACIJA ZAHTEV IN TRŽNIH PRILOŽNOSTI  
ZA KRMILJA ELEKTROMOTORJEV, KI IZVIRAJO IZ  
EUP DIREKTIVE**

DIPLOMSKO DELO

**Uroš Vodopivec**

Mentor: doc. dr. Marko Zavrtanik

Nova Gorica, 2010



## **ZAHVALA**

*Najprej bi se rad zahvalil profesorju doc. dr. Marku Zavrtaniku, ki me je sprejel pod svoje mentorstvo in me vodil ter svetoval pri oblikovanju diplomskega dela.*

*Zahvala gre tudi podjetju ATech elektronika, d. o. o., kjer sem opravljal praktično usposabljanje, ki je bilo temelj za kasnejše nastajanje te diplomske naloge. Še zlasti bi se rad zahvalil gospodu Gregorju Franiču za vse podatke in ostalo pomoč.*

*Iskrena zahvala tudi moji družini, ki mi je stala ob strani v celotnem času študija.*



## **NASLOV**

### **Identifikacija zahtev in tržnih priložnosti za krmilja elektromotorjev, ki izvirajo iz EuP direktive**

## **IZVLEČEK**

Eden izmed najpomembnejših ukrepov Evropske unije na področju energetike je zagotovo direktiva EuP (Energy using products), s pomočjo katere se določa zahteve za okoljsko primerno zasnovane izdelke, ki rabijo energijo. Za posamezne segmente proizvodov je Evropska komisija sprožila več EuP pripravljivih študij, na podlagi katerih se kasneje v skladu z direktivo EuP oblikujejo uredbe komisije, ki zelo natančno opredelijo zahteve za zajete proizvode.

Namen diplomskega dela je analiza sprememb, ki jih prinaša direktiva na področju krmiljenja elektromotorjev. Ker uredb za večino proizvodnih skupin še ni izdanih, smo si pri identifikaciji zahtev pomagali z EuP pripravljivimi študijami in predlogi uredb. Iz za nas zanimivejših študij smo povzeli podatke o trenutno prisotnih tehnologijah na trgu ter ocenili samo velikost in rast trga, kjer nam je bila v veliko pomoč tudi evropska statistika Eurostata. Ravno tako smo na osnovi ugotovitev študij kot tudi preučevanja drugih virov ovrednotili priložnosti za spremembe na trgu krmilj.

Cilj vseh preučevanj in ugotovitev je bil v sodelovanju s podjetjem ATech elektronika, d. o. o. (v nadaljnjem tekstu ATech), izbrati segment, v katerem se zaradi direktive EuP odpirajo tržne priložnosti za energetske učinkovite krmilje. Za ta segment se je kot primeren pokazal trg ventilatorjev za nestanovanjsko uporabo, za katerega je bil razvit tudi frekvenčni pretvornik. Prednosti takega pretvornika so enostavna montaža, visoka energetska učinkovitost pri vseh hitrostih obratovanja in možnost uporabe z različnimi elektromotorji le s spremembo programske opreme.

## **KLJUČNE BESEDE**

elektromotorji, krmilja, frekvenčni pretvornik, direktiva EuP, študije EuP

## **TITLE**

### **Identification of requirements and market opportunities for control of electric motors, which originate from the EuP Directive**

## **ABSTRACT**

One of the most significant acts of the current European Union legislation, the EuP Directive, is establishing a framework to set Eco-design requirements for energy-using products. While the EuP Directive itself is just a framework, Commission regulations, which are set in accord with EuP preparatory studies, make specific provisions by product category.

For the purposes of this bachelor thesis we are especially interested in changes of requirements for motor controllers brought by EuP Directive. Since the Commission regulations for most product groups are not yet issued, we had to identify changes mostly through EuP preparatory studies and, where available, proposed Commission regulations. To do that, we identified the most interesting EuP studies from our point of view, and then presented currently the most used electric motors and technologies for controlling speed with described improvement potentials in selected product groups. Besides that we analyzed market size and growth with the help of Eurostat, the statistical office of the European Union.

The aim of this investigation was to select a segment where the EuP Directive opens market opportunities for energy-efficient control. Based on our findings, in cooperation with the company ATech, we identified target segment, low-power ventilators for non residential buildings. For this purpose the company has developed a frequency converter with the ability to operate with great efficiency at all operation speeds and the possibility of using different types of electric motors while only changing the software. In addition to that, the frequency converter is very compact and easy to attach.

## **KEYWORDS**

electric motors, motor controllers, variable-frequency drive, EuP Directive, EuP studies

## KAZALO

1	UVOD .....	1
1.1	Distribucija energije in s tem povezane težave .....	1
1.2	Oprelitev področja ter opis problema .....	2
1.3	Metodologija diplomskega dela .....	2
1.4	Cilji diplomskega dela .....	3
2	PREDSTAVITEV PODJETJA ATECH ELEKTRONIKA, D. O. O. ....	4
3	ELEKTROMOTORJI .....	6
3.1	Delitev elektromotorjev .....	6
3.2	Enosmerni motor s ščetkami .....	7
3.3	Asinhronski motor .....	10
3.4	Enosmerni motor brez ščetk .....	13
3.5	Sinhronski motor s permanentnimi magneti .....	15
3.6	Evropski trg elektromotorjev in krmilj za elektromotorje .....	16
3.6.1	Eurostat in Prodcom .....	16
3.6.2	Velikost trga EU .....	17
4	DIREKTIVA EUP .....	22
4.1	Eco-design .....	22
4.2	Program EuP .....	22
4.3	Študije EuP .....	23
5	PODROBNEJŠI PREGLED ZANIMIVEJŠIH ŠTUDIJ EUP .....	26
5.1	Elektromotorji .....	26
5.1.1	Trg elektromotorjev .....	27
5.1.2	Tehnična analiza motorjev .....	27
5.1.3	Krmilja za elektromotorje .....	28
5.2	Kuhinjske nape .....	28

5.2.1	Trg kuhinjskih nap .....	29
5.2.2	Elektromotorji v kuhinjskih napah .....	30
5.2.3	Krmilja za elektromotorje v napah .....	30
5.3	Ventilatorji .....	30
5.3.1	Trg ventilatorjev .....	30
5.3.2	Krmilna elektronika v ventilatorjih .....	32
5.4	Kompresorji v hladilnih napravah .....	33
5.4.1	Trg kompresorjev .....	33
5.4.2	Krmilna elektronika kompresorjev .....	33
5.5	Električne črpalke .....	34
5.5.1	Trg električnih črpalk .....	34
5.5.2	Krmilja za električne črpalke .....	35
5.6	Pralni, pomivalni ter sušilni stroji .....	35
5.6.1	Trg pomivalnih, pralnih in sušilnih strojev za domačo uporabo .....	36
5.6.2	Krmilja za motorje v beli tehniki .....	37
5.7	Ugotovitve študij in njihov vpliv na ATech .....	37
6	FREKVENČNI PRETVORNIK – INVERTIS .....	40
6.1	Izbira ciljnega segmenta .....	40
6.2	Lastnosti Invertisa .....	41
7	ZAKLJUČEK .....	43
8	LITERATURA .....	45



## KAZALO SLIK

Slika 1: Krmilje za brezkrtačne DC-motorje (ATech elektronika, 2010).....	4
Slika 2: GPRS-enota za daljinski nadzor sistemov (ATech elektronika, 2010).....	5
Slika 3: Fumis FP-OXY krmilje in uporabniški vmesnik (ATech elektronika, 2010)	5
Slika 4: Delitev elektromotorjev (ATech Motion predstavitev, 2005) .....	7
Slika 5: Dvopolni enosmerni motor v različnih pozicijah (Brushed DC electric motor, 2010) .....	8
Slika 6: Vezava H-mostič.....	9
Slika 7: Navitja v statorju enofaznega elektromotorja s kratkostično kletko (How Are Squirrel Cage, 2010) .....	11
Slika 8: BLDC-motor računalniškega ventilatorja, brez rotorja (Brushless DC electric motor, 2010).....	13
Slika 9: Princip delovanja BLDC-motorja (Brushless DC Motors, 2010).....	14
Slika 10: Oznaka CE (What is CE Marking (CE Mark)?, 2010) .....	23
Slika 11: Proces EuP (Products covered, 2010).....	25
Slika 12: Države proizvajalke kuhinjskih nap po statistiki Prodcum (Prodcum, 2010) .....	29

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Seznam proizvodnih skupin po klasifikaciji Prodcom s kodo Prodcom, količinami letno izdelanih izdelkov, prometu in povprečni prodajni ceni v evrih na območju EU-27 .....	17
Tabela 2: Seznam proizvodnih skupin po klasifikaciji Prodcom, količinah letno izdelanih izdelkov, številu uvoženih ter izvoženih izdelkov in predvideni uporabi izdelkov na območju EU-27.....	19
Tabela 3: Seznam vseh študij EuP (Products covered, 2010).....	24
Tabela 4: Število proizvedenih nap v letu 2008 v EU-27 po statistiki Prodcom (Prodcom, 2010).....	29
Tabela 5: Proizvodnja, uvoz, izvoz ter dejanska poraba aksialnih ter centrifugalnih ventilatorjev v EU-27 leta 2008 (Prodcom, 2010) .....	31
Tabela 6: Razvrstitev ventilatorjev po študiji EuP, število vgrajenih ter predvideno število ventilatorjev v uporabi (Radgen P., Oberschmidt J., 2008) .....	32
Tabela 7: Proizvodnja kompresorjev leta 2008 v EU-27 (Prodcom, 2010).....	33
Tabela 8: Tipi črpalk s procenti prodaje skupaj z VSD-jem (Falkner, 2008).....	35
Tabela 9: Proizvodnja za leto 2008 (Prodcom, 2010).....	36



# 1 UVOD

## 1.1 Distribucija energije in s tem povezane težave

Vse večja poraba energije na vseh področjih je dandanes problem globalnih razsežnosti, s katerim se že več desetletij resneje spogleduje človeštvo. Problem pa ni le sama oskrba potrošnikov z vse več energije, temveč moramo upoštevati tudi stranske, nezaželene proizvode, ki nastajajo pri porabljanju energije iz neobnovljivih virov energije. Največji problem pri tem so toplogredni plini, ki onesnažujejo naše ozračje in pripomorejo h globalnemu segrevanju. V kolikšni meri je globalno segrevanje povezano z industrijo oz. vpletanjem človeka v naravo, ni natančno določeno, saj se različni strokovnjaki in stroke med seboj mnogokrat ne strinjajo. Dejstvo pa je, da se je od leta 1750 količina ogljikovega dioksida v ozračju povečala za 36 %, metana pa za kar 148 %. Zaradi te problematike je bil sklenjen mednarodni sporazum, ki skuša omejiti emisije toplogrednih plinov. To so, poleg dveh zgoraj omenjenih plinov, didušikov oksid, fluorirani ogljikovodiki, perfluorirani ogljikovodiki in žveplov heksafluorid. Ta sporazum poznamo pod imenom Kjotski protokol, imenuje pa se po kraju Kyoto na Japonskem, kjer je bil sprejet. Sporazum so podpisale in ratificirale skoraj vse države z izjemo nekaj manjših. Izjema so tudi Združene države Amerike, ki so ga sicer podpisale, vendar ga ne nameravajo ratificirati, saj ocenjujejo, da bi jim povzročil preveliko gospodarsko škodo. Vse našteje pline Zemljino ozračje vsebuje tudi naravno, kajti brez njih bi bila temperatura na zemljini površini približno 33 °C nižja, kar bi onemogočilo življenje, kot ga poznamo danes, vendar se njihove količine od začetka industrializacije prekomerno povečujejo.

V okviru diplomskega dela nas zanimajo le naprave, ki za svoje delovanje potrebujejo električno energijo, zato je pomembna zlasti problematika oskrbovanja z električno energijo. Trenutno je na svetu več kot polovico pridobivamo iz fosilnih goriv (ob upoštevanju prevoza in ogrevanja pa je pridobljene energije iz fosilnih goriv še znatno večji delež). Fosilna goriva niso obnovljivi viri energije in jih bo sčasoma zmanjkalo, zato se vedno več vlaga v tehnologije obnovljivih virov. V kolikor gledamo bolj ozko, le na Evropo, pa nastane dodaten problem, ker Evropski prostor ni bogat s fosilnimi gorivi in jih moramo zato uvažati, predvsem iz Rusije.

Prav zaradi omenjene vse večje porabe električne energije kot tudi na splošno prevelikega onesnaževanja narave in prevelike odvisnosti od uvoza fosilnih goriv se je Evropska unija odločila ukrepati. V ta namen je bil leta 2005 uveden program z imenom Eco-design oziroma: Strategije ekološkega načrtovanja izdelkov.

## **1.2 Opredelitev področja ter opis problema**

Področje diplomskega dela zajema analizo trga elektromotorjev in njihovih krmilj ter vpliv v bodoče sprejetih uredb, osnovanih na direktivi EuP. Osnovni cilj direktive je preprečitev prodaje proizvodov na področju Evropske unije, ki ne ustrezajo minimalnim zahtevam, podanih v uredbi komisije. Poleg same zakonodaje podjetjem predstavlja grožnjo vse večja konkurenca, ki vse pogosteje prihaja izven območja EU, predvsem iz Azije. Zato mora biti uspešno podjetje dobro seznanjeno z najnovejšimi tehnologijami in trendi.

Ravno v ta namen smo s pomočjo pregleda konkurence in njihovih inovacij ter predvsem s podrobno preučitvijo študij EuP identificirali segment, v katerem bi podjetje ATech lahko bilo konkurenčno. Študije EuP, ki so podlaga za uvedbo, so v ta namen še posebej prikladne, saj je iz njihove vsebine mogoče dokaj natančno predvideti prihajajoče trende na trgu in se na ta način že vnaprej pripraviti na spremembe v zakonodaji.

## **1.3 Metodologija diplomskega dela**

V uvodu predstavimo splošne podatke o problematiki z energijo v današnjem času, namen tega pa je boljše razumevanje potreb po spremembi v našem odnosu do energije. Kot dober primer ukrepanja je omenjen program Eco-design, katerega glavni proizvod je direktiva EuP in iz nje izpeljane uredbe komisije.

V drugem delu se seznanimo s podjetjem ATech, s katerim smo tesno sodelovali pri izdelavi pričujočega dela. Na kratko opišemo njihovo zgodovino, predstavimo njihove dosežke ter spoznamo linije njihovih izdelkov.

Tretje poglavje je namenjeno seznanitvi s tehničnimi in tržnimi lastnostmi trga elektromotorjev in krmilji za elektromotorje. Opišemo delovanje nekaterih

elektromotorjev in načine, s katerimi jih lahko krmilimo. Za velikost evropskega trga uporabimo podatke uradnega evropskega statističnega urada.

Četrty del je namenjen opisu delovanja programa EuP in študij EuP. Predstavljen je namen izdelave študij EuP in postopek priprave direktiv do vpisa v Uradni list Evropske unije.

V petem delu se poglobimo v nekatere študije EuP, ki obravnavajo izdelke, zanimive s perspektive podjetja ATech. S statistiko Prodcom (Production Communautaire) predstavilmo velikost trga in nato v okviru posamezne študije opišemo segmente, kjer je moč pričakovati potrebo po krmiljih za elektromotorje. Za konec ugotovitve povzamemo in ovrednotimo ter opišemo morebitne vplive na strategijo ATech.

Na podlagi ugotovitev iz petega poglavja predstavimo rešitev za izbrani ciljni segment ter možnosti uporabe in prednosti pred ostalimi rešitvami, ki so dandanes v uporabi. Nato podrobneje predstavimo način delovanja in ostale tehnične lastnosti razvitega izdelka.

#### **1.4 Cilji diplomskega dela**

Poglavitni cilj diplomskega dela je ugotovitev sprememb, ki jih bo direktiva EuP prinesla na trg elektronike za krmiljenje elektromotorjev. Iz zbranih ugotovitev in stanja na trgu identificiramo ciljni segment trga, na katerem bi bil ATech konkurenčen. S pomočjo teh podatkov izdelamo koncept izdelka in oblikujemo strategijo za vstop na trg.

## 2 PREDSTAVITEV PODJETJA ATECH ELEKTRONIKA, D. O. O.

ATech je mlado in inovativno podjetje, ki se nahaja v Baču pri Materiji. Leta 1990 ga je ustanovil Davor Jakulin, ki opravlja tudi funkcijo direktorja podjetja. Že vrsto let uspešno sodeluje z več tujimi partnerji. Podjetje ATech je dobitnik nagrade gazela, najpodjetniška ideja, več nagrad pri GZS ter se na Slovenskem forumu inovacij redno uvršča med najbolj inovativna slovenska podjetja. Njihovi poglavitni področji izdelkov sta elektronika krmilj elektromotorjev in povezovalnih modulov, to sta liniji izdelkov SmartMove in SmartLine.

Za linijo izdelkov SmartMove je značilno vrhunsko razmerje med zmogljivostjo in ceno ter zelo natančna regulacija hitrosti, položaja in navora. Na voljo so krmilja tako za brezkrtačne DC-motorje, AC-indukcijske motorje ter univerzalne in klasične DC-motorje s krtačkami. Na sliki 1 vidimo primer krmilja za brezkrtačne DC-motorje za montažo na motor. Zasnovan je bil z namenom, da nadomesti klasične DC-motorje v manj zahtevnih aplikacijah.



Slika 1: Krmilje za brezkrtačne DC-motorje (ATech elektronika, 2010)

Linija izdelkov SmartLine, ki jo sestavljajo izdelki za povezovanje, kot že ime pove, služi za komunikacijo med napravami. Predvsem so izdelki te linije namenjeni lažjemu upravljanju z ATechovimi krmilji za motorje in ostalimi njihovimi proizvodi, kot so daljinski nadzor, zajemanje, prenos in obdelava podatkov. Na sliki 2 je prikazana GPRS-enota za daljinski nadzor sistemov avtomatizacije v industriji in

stavbah, s katerim lahko nadzorujemo sisteme avtomatizacije, ogrevanje in klimatizacije in podobno. Deluje lahko tudi kot GSM/GPRS- modem.



Slika 2: GPRS-enota za daljinski nadzor sistemov (ATech elektronika, 2010)

V zadnjem času pa je ATech prisoten tudi na trgu krmilj za ogrevalne sisteme na lesno biomaso z linijo izdelkov Fumis. Sem spada sodobno krmilje z uporabniškim vmesnikom, ki je prilagojeno glede na zahteve kupca. Cilji so predvsem visoka učinkovitost peči ter nizke emisije plinov, katere meri sonda lambda in jih v realnem času v obliki podatkov posreduje krmilju, ki preko ventilatorjev uravnava gorenje v peči ter skrbi za delovanje črpalke in ostale elektronike. Na sliki 3 lahko vidimo primer krmilja skupaj uporabniškim vmesnikom.



Slika 3: Fumis FP-OXY krmilje in uporabniški vmesnik (ATech elektronika, 2010)

Podatke o podjetju in njihovih izdelkih smo pridobili z njihove spletne strani (ATech elektronika, 2010).



### **3 ELEKTROMOTORJI**

Zaradi boljšega razumevanja diplomske naloge smo predstavili vrste elektromotorjev ter razložili njihovo delovanje. Pri opisu delovanja se nismo spuščali v podrobnosti, temveč le do mere, da bo jasen princip delovanja. Poleg samega delovanja smo predstavili tudi načine regulacije hitrosti z opisi principa delovanja nekaterih.

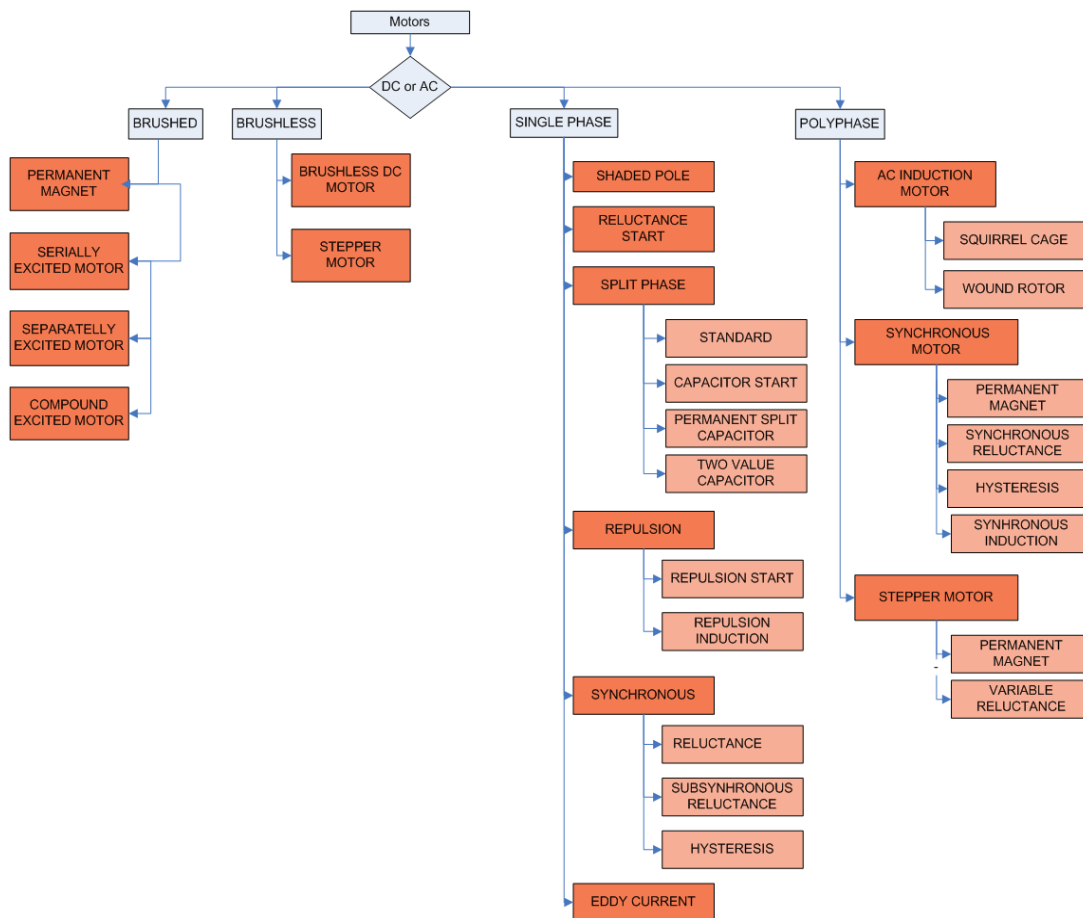
Ker poznamo veliko število različnih izvedb, je predstavljeno le delovanje osnovnih in za nas pomembnih tipov elektromotorjev. Podrobnejši opisi delovanja so opisani v strokovni literaturi z uporabo fizikalnih modelov.

#### **3.1 Delitev elektromotorjev**

Kot je v splošnem znano, so elektromotorji naprave, ki električno energijo pretvarjajo v mehansko. Skupno jim je to, da njihovo gibanje povzročajo magnetna polja, čeprav poznamo tudi take, ki za svoje delovanje uporabljajo elektrostatiko. Omeniti velja še naprave, ki mehansko energijo pretvarjajo v električno. Lahko bi rekli, da delujejo obratno kot elektromotorji, to sta alternator in generator, ki ga poznamo tudi pod imenom dinamo. Veliko vrst elektromotorjev lahko deluje kot generator in obratno.

Elektromotorje lahko delimo na več načinov, vendar se v splošnem delijo na enosmerne in izmenične, to je glede na napajalno napetost, ki jo priključimo na sponke elektromotorja. Čeprav je ta delitev najbolj splošna in se najpogosteje uporablja v strokovni literaturi, ni absolutna. Na primer, veliko klasičnih enosmernih motorjev lahko poganjamo z izmenično napetostjo; take motorje imenujemo univerzalni motorji.

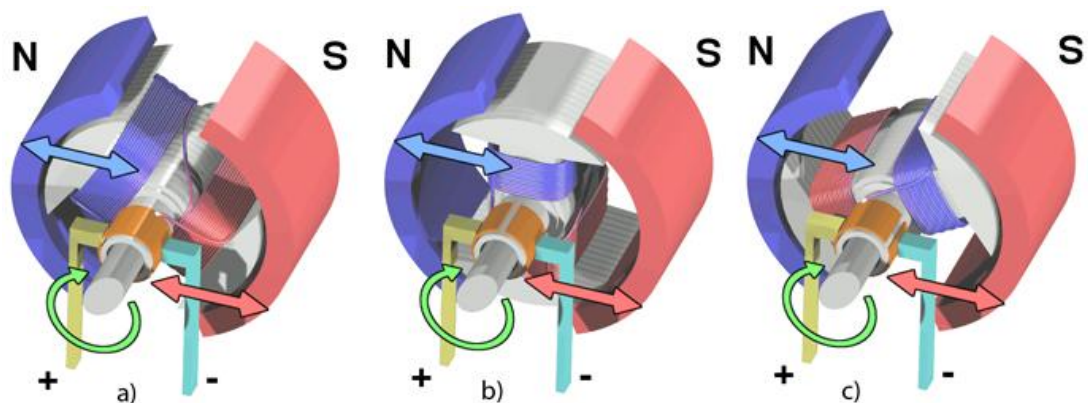
Po zgoraj navedeni delitvi se enosmerne motorje dalje deli na motorje s krtačkami in brez krtačk (tudi s ščetkami in brez ščetk). Motorje, ki za svoje delovanje potrebujejo izmenično napetost, pa delimo na enofazne ter večfazne (običajno trifazne). Ker je delitev od tu naprej precej kompleksna, si jo najlaže predstavljamo v obliki hierarhičnega diagrama, ki je prikazan na sliki 4.



Slika 4: Delitev elektromotorjev (ATech Motion predstavitev, 2005)

### 3.2 Enosmerni motor s ščetkami

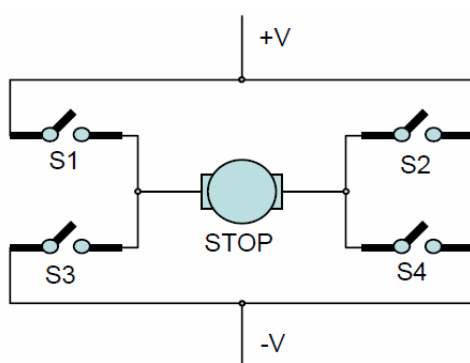
Enosmerni (DC) krtačni motor, ki se zaradi principa delovanja imenuje tudi DC-motor z mehansko komutacijo, se uporablja že vrsto let zaradi svoje enostavne izvedbe in izdelave. Poglavitna sestavna dela sta rotor in stator. Stator je sestavljen iz dveh ali več polov magneta, ki je lahko elektromagnet ali permanentni magnet. Rotor pa predstavljajo navitja, ki so priključena na mehanski komutator. Rotor se največkrat nahaja v notranjosti statorja, obstajajo pa tudi izvedbe z zunanjim rotorjem. Na primeru slike 5 si lahko lažje predstavljamo delovanje dvopolnega DC-motorja, zato si bomo z njo pomagali pri opisu DC-motorja s ščetkami.



Slika 5: Dvopolni enosmerni motor v različnih pozicijah (Brushed DC electric motor, 2010)

Kot je razvidno iz slike, modra barva predstavlja severni, rdeča pa južni magnetni pol. Ko elektromotor priklopimo na enosmerni vir napetosti, se generira magnetno polje in magnetna pola statorja in rotorja, ki sta poravnana, se začneta odmikati eden od drugega, kot je prikazano na sliki a). To privede v rotacijo rotorja v smeri urinega kazalca. Na sliki b) je vidna pozicija rotorja med obema poloma statorja, ki se še vedno zaradi privlačnosti med nasprotnima poloma in odbojev med enakimi poli giblje v desno. Na sliki c) pa je prikazana pozicija, tik preden se nasprotna magnetna pola poravnata. To je tudi slaba lastnost te izvedbe elektromotorja, saj je v tej poziciji navor enak nič. Ampak že naslednji trenutek se ščetke pomaknejo na naslednji kontakt komutatorja, tok steče v drugo navitje in rotacija se nadaljuje. Ta cikel se pri dvopolnem motorju ponovi dvakrat na obrat. Druga slaba lastnost je, da se v prej omenjeni poziciji brez navora ščetke dotikajo dveh sosednjih komutatorjev, kar predstavlja kratek stik. Med kratkim stikom motor prejete električne energije ne pretvori v gibanje, temveč gre ta energija v izgube, kar zmanjšuje izkoristek motorja. Proizvajalci se lahko znebijo tega problema z različnimi pristopi, vendar s tem izgublajo na drugih področjih delovanja. Primer take rešitve je povečanje vrzeli med komutatorji, vendar se s tem večja območje brez navora. Poleg tega je pomembno omeniti, da se ščetke po določenem času uporabe obrabijo in jih je zato potrebno menjati, to pa privede do stroškov vzdrževanja, ki jih nekateri drugi motorji nimajo, hkrati pa ima motor zaradi mehanske komutacije omejeno hitrost delovanja. Tudi izdelava motorja je precej draga zaradi potrebnih magnetnih materialov, obenem pa so motorji zaradi tega precej težki.

V preteklosti je bil posebej pogosto uporabljen v pogonih, kjer je bila potreba po spremenljivih hitrostih, saj mu zelo preprosto spreminjamo želeno hitrost vrtenja. Dandanes pa ga, predvsem izvedbe večjih moči, izpodrivajo izmenični motorji z regulacijo vrtljajev. Pri izdelkih, ki potrebujejo motor majhnih moči, pa ga počasi nadomešča brezkrtačni DC-motor, ki postaja konkurenčnejši zaradi vedno cenejše izvedbe elektronike. Kot že omenjeno, je bila vrsto let velika prednost tega elektromotorja enostavna regulacija hitrosti vrtenja. Ta se spreminja sorazmerno z napetostjo, navor pa je sorazmeren toku. V ta namen lahko uporabljamo različno napajalno napetost, predupor ali pa napetost krmilimo elektronsko. Tudi sprememba smeri vrtenja je dosežena zelo enostavno, to je z zamenjavo polaritete napetosti na priključnih sponkah. Za to lahko uporabimo vezavo, ki ji pravimo H-mostič (slika 6), ki je sestavljen iz štirih stikal. Deluje tako, da se stikala v parih preklaplajo in s tem na sponke motorja dovajajo različno polarizirano napetost. Ob sklenjenih stikalih S1 in S4 imamo pozitivno napetost na desni sponki motorja in negativno na levi, če pa sklenemo S2 in S3 je stanje obratno in motor se vrti v obratno smer.



Slika 6: Vezava H-mostič

Ker običajno nimamo na voljo spremenljive napajalne napetosti, uporaba upora pa je energetska potratna, je najučinkovitejša rešitev za regulacijo vrtljajev DC-motorja elektronsko krmiljenje. Primer takega krmiljenja je na primer PWM (Pulse Width Modulation) oziroma impulzno-širinska modulacija. To je način moduliranja signala, pri katerem vklapljam in izklapljam vhodni signal z zelo hitro frekvenco. Sama frekvenca impulzov ni pomembna, pomembno je razmerje med impulzom in pavzo, ki lahko variira od 0 % do 100 % ter s tem uravnava povprečno napetost (in tok). Do nedavnega so PWM-vezja za svoje delovanje uporabljala tiristorje, ki so potrebovali še dodatno vezje za prisilno komutacijo, ali pa bipolarni tranzistorje, ki so relativno

počasni. S tem je bila frekvenca preklapljanja omejena na približno na 1 kHz. Z začetkom uporabe MOSFET-ov pa lahko signal vzorčimo tudi s frekvenco 20 kHz in več. Seveda pa lahko poleg DC-motorjev z impulzno širinsko modulacijo krmilimo tudi AC-motorje ter veliko ostalih električnih naprav.

Četudi DC-krtačni motor izgublja na popularnosti, ga lahko najdemo skoraj povsod, izmed tipičnih primerov uporabe pa lahko naštejemo naslednje:

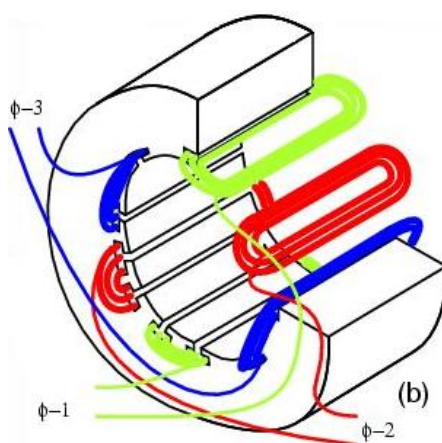
- robotika,
- avtomobilska industrija,
- ročna orodja,
- gospodinjski aparati,
- igrače ter
- avtomatizacija v tovarnah, kjer običajno delujejo kot servomotorji.

### **3.3 Asinhronski motor**

Asinhronski ali indukcijski elektromotor je najpogosteje uporabljen motor v industriji. Ime je dobil po tem, ker se dejansko že brez obremenitve vrti počasneje, kot je njegova sinhronska hitrost. Kot bo predstavljeno v opisu delovanja, je to zato, ker bi ob vrtenju s sinhronsko hitrostjo imel konstanten pretok, kar pomeni, da se v rotorju ne bi ustvarjal noben tok. Ta zaostanek dejanske hitrosti vrtenja in njegove sinhronske hitrosti imenujemo "slip" oziroma slipna frekvenca.

Njegova glavna razlika in prednost pred DC-motorji s ščerkami je odsotnost mehanskega komutatorja, kar precej zniža stroške izdelave in vzdrževanja. S tem motor pridobi tudi na robustnosti. Za njegovo napajanje skrbi izmenična napetost (AC – altering current), ima pa tudi bistveno večji izkoristek kot v prejšnjem podpoglavju opisani DC-krtačni motor. Glede na izvedbo rotorja jih delimo na motorje s kratkostično kletko ter motorje z navitim rotorjem. Motorji z navitim rotorjem imajo podobno kot prej opisani DC-motorji ščetke, zato so dražji. Uporabljali so se zlasti pri aplikacijah, kjer je bila potreba po regulaciji vrtljajev. Vendar se sedaj umikajo iz uporabe, ker nova tehnologija ponuja boljše rešitve za regulacijo vrtljajev. Zaradi tega smo v tem podpoglavju opisali le motorje s kratkostično kletko.

Samo delovanje motorja je precej kompleksnejše kot pri DC-krtačnem motorju, zato bo delovanje predstavljeno nekoliko bolj poenostavljeno. Sestavljata ga primarno (stator) in sekundarno (rotor) navitje. Statorskih navitij je več (slika 7) in so porazdeljena tako, da ustvarijo čim bolj sinusno porazdelitev polja, v splošnem pa velja, da so enaki za enofazne in trifazne motorje, le navitje je različno. Na primarno navitje, torej stator, dovajamo izmenično, največkrat trifazno napajanje. S tem se skozi kratko sklenjeno rotorsko navitje z izrabljanjem elektromagnetnega polja inducira sekundarni tok. Ta tok pa ustvari navor, s katerim motor spremeni električno energijo v mehansko. Vrtilni navor je rezultat delovanja sekundarnih (rotorskih) tokov na magnetni pretok (fluks) v zračni reži.



Slika 7: Navitja v statorju enofaznega elektromotorja s kratkostično kletko (How Are Squirrel Cage, 2010)

Izmed dobrih lastnosti, zaradi katerih se tako pogosto pojavlja v uporabi, so najpomembnejše: relativno nizki stroški izdelave, robustna konstrukcija, dober izkoristek nad nazivno hitrostjo, možnost delovanja pri velikih hitrostih ter odsotnost potrebe po senzorju (ni potrebe po vektorskemu vodenju). Med slabimi lastnostmi pa ne moremo mimo slabega izkoristka pri majhnih močeh, zahtevnega vodenja pri servopogonih ter potrebe po jalovi moči.

Področja, kjer ga najpogosteje srečamo, so:

- industrijski pogoni,
- obdelovalni stroji,
- dvigala,

- električna vozila,
- večji ventilatorji,
- črpalke in drugo.

Kot smo že spoznali, potrebujemo za pogon AC-indukcijskega motorja izmenično napetost. Tudi sama hitrost motorja je odvisna od frekvence napajalne napetosti, to pa izračunamo po enačbi (1), kjer je  $v$  sinhronska hitrost motorja v obratih na minuto brez slipne frekvence,  $f$  frekvenca napajalne napetosti v hertzih ter  $p$  število magnetnih polov. V kolikor želimo izračunati natančno hitrost asinhronskega motorja  $v_r$ , potrebujemo še podatek o velikosti "slipa"  $s$ , ta pa je odvisen od obremenitve motorja, ki ga vstavimo v enačbo (2).

$$v = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (1)$$

$$v_r = v \cdot (1 - s) \quad (2)$$

Poleg same frekvence napajanja lahko hitrost asinhronskega motorja krmilimo še s spreminjanjem napetosti in frekvenčnim pretvornikom oziroma frekvenčnim inverterjem. Poznamo več načinov krmiljenja s frekvenčnimi pretvorniki, najbolj osnovna in razširjena je tako imenovana "Volt per Hertz" ali kar V/f regulacija. Deluje tako, da najprej napetost AC z usmernikom pretvori v enosmerno (DC). Dobljeno enosmerno napetost se z uporabo inverterja pretvori v kvazisinusno izmenično napetost poljubne frekvence, s katero poganjamo motor. Zaradi lastnosti AC indukcijskega motorja je za doseganje nazivnega navora potrebno skupaj s frekvenco sorazmerno spreminjati tudi napetost. Poleg "Volt per Hertz" krmiljenja poznamo še vektorsko regulacijo, ki se jo običajno uporablja v aplikacijah, kjer je potreba po veliki natančnosti nadzora ter način neposrednega navora.

Velika prednost tega načina regulacije vrtljajev pred ostalimi je tudi varčevanje z energijo, ko motor ne deluje s polno hitrostjo. Ravno zaradi tega se jih predvsem veliko uporablja pri regulaciji ventilatorjev, črpalk, tekočih trakov ter dvigal, kjer so mogoči največji prihranki energije.

### 3.4 Enosmerni motor brez ščetk

Enosmerne motorje brez ščetk najpogosteje zasledimo pod imenom BLDC. V določenih segmentih pa se uporablja tudi izraz EC, ki pomeni elektronsko komutacijo in opisuje princip delovanja. Kot je že iz kratic moč ugotoviti, ga poganja enosmerna napetost, po delovanju pa ga uvrščamo med sinhronne motorje.

Po videzu spominjajo na navzven obrnjeni DC-motor s ščerkami, prav tako pa je tudi njegovo delovanje v marsičem precej podobno enosmernim motorjem s ščerkami. Delo komutatorja pa prevzame krmilna elektronika. Kot primer majhnega BLDC-motorja lahko na sliki 9 vidimo zgradbo računalniškega ventilatorja, ki ima zaradi nazornejšega prikaza odstranjen rotor.



Slika 8: BLDC-motor računalniškega ventilatorja, brez rotorja (Brushless DC electric motor, 2010)

Od DC-motorja s ščerkami je BLDC-motor boljši predvsem v izkoristku, zmanjšani velikosti ter teži, imajo manjši elektromagnetni ter akustični šum, manjši vztrajnostni moment, zaradi odsotnosti krtačk so stroški vzdrževanja manjši, saj ni prahu (zaradi obrabe krtačk). Ostale dobre lastnosti so zmožnost visokih hitrosti delovanja, visoka zanesljivost in preprosto vodenje po hitrosti (vodljiv v širokem področju hitrosti, možno obratovanje v obe smeri, nadzor navora, sunka, toka in hitrosti, hitro pospeševanje in zaviranje). Slabe lastnosti takega motorja pa so predvsem potreba po dodatnem elektronskem vezju, ki krmili motor, kompleksnost pogona in navzgor omejena moč, ki je manjša kot na primer pri AC-indukcijskih motorjih. Pripomniti velja, da je tudi cena izdelave dražja kot pri ostalih motorjih, vendar se z razvojem elektronike in magnetnih materialov le-ta niža.

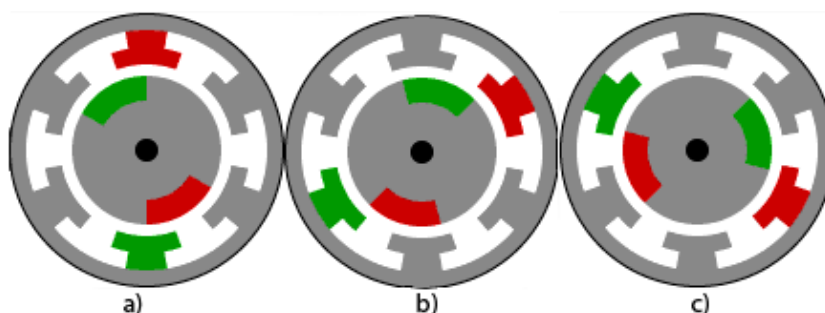


Zaradi svojih dobrih lastnosti se uveljavlja v vse več aplikacijah. Že danes pa je najbolj razširjen v računalnikih ter modelarstvu. Pogosto ga najdemo tudi v:

- robotiki,
- orodnih strojih,
- pisarniški opremi,
- avtomobilski industriji,
- gospodinjskih aparatih in v
- avtomatizaciji v industriji.

Pričakovati je, da bo postopoma, tudi zaradi nižanja cene izdelave, skoraj popolnoma zamenjal DC-motor s ščetkami.

Kot že omenjeno, si lahko BLDC-motor predstavljamo kot navzven obrnjen krtačni DC-motor, saj na mestih, kjer so pri običajnem DC-motorju rotorska navitja, tu najdemo trajnostne magnete. Za stator pa imamo namesto statorskih magnetov tu statorska navitja, na katera dovajamo tok, ki povzroča vrtljivo magnetno polje. Prednost take izvedbe je, da ne potrebujemo mehanskega prenosa energije na rotor. S tem se znebimo večnega problema klasičnih DC-motorjev, ščetk in problemov, povezanih z njimi. BLDC-motor lahko priključimo tako na enosmerno kot izmenično napetost; kar ga naredi DC, je pripadajoče elektronsko vezje.



Slika 9: Princip delovanja BLDC-motorja (Brushless DC Motors, 2010)

Enostavnejši primer delovanja in regulacije bomo predstavili s pomočjo slike 9. Prikazana so tri izmed šestih ponavljajočih se stanj BLDC-motorja s tremi pari navitij. Rotor, ki ima v našem primeru le en severni in en južni pol (lahko jih ima več), se vrti v elektromagnetnem polju, ki ga tvorijo fazna navitja statorja. Kot je vidno na sliki a), se rotor z južnim in severnim polom približuje nasprotnim polom

statorja. Ko rotor doseže želeno stanje, se zaradi vztrajnosti zavrti nekoliko mimo pola navitja. Na tem mestu ne moremo mimo omembe Hallove sonde, ki zaznava magnetno polje in s tem orientacijo rotorja v BLDC-motorju, torej je nekakšen nadomestek ščetk pri motorju z mehansko komutacijo. Ko se torej rotor zaradi vztrajnosti zavrti mimo navitja nasprotnega pola, to zazna Hallova sonda in vključi naslednji tranzistor, ki skozi navitje statorja požene tok v naslednji par navitji, kot je razvidno na sliki b). Ker se nasprotna pola odbijata, se rotor vrti naprej in cikel se nadaljuje z drugim Hallovim senzorjem in tranzistorjem, kot je vidno na sliki c). Na ta način lahko s primernim elektronskim vezjem enostavno krmilimo hitrost takega motorja. Za krmiljenje BLDC-motorja sicer poznamo tudi načine brez Hallove sonde, vendar so kompleksnejši in jih ne bomo omenjali.

### **3.5 Sinhronski motor s permanentnimi magneti**

Sinhronski motor s permanentnimi magneti (PMSM – Permanent magnet synchronous motor) je po konstrukciji podoben BLDC-motorju, s tem da je pri sinhronskem motorju pri izdelavi potrebno paziti na sinusno porazdelitev polja. Tako kot pri indukcijskem motorju se ob priklopu na (običajno) trifazno napetost ustvari vrtljivo magnetno polje, ki poskrbi za vrtenje rotorja. Hitrost vrtenja izračunamo enako kot pri asinhronskemu motorju po enačbi (1), ki je podana v podpoglavju o njih, le da pri sinhronskem motorju ni potrebno upoštevati slipa, ker se rotor vrti s frekvenco statorskega polja. Samo delovanje si najlaže predstavljamo, če si zamislimo, da se rotor enostavno vklene v rotirajoče magnetno polje statorja in vrti skupaj z njim. Gostota magnetnega polja sinhronskega motorja s permanentnimi magneti je višja kot pri indukcijskem motorju enakih moči, ker tu stator ne proizvaja magnetnega polja.

PMSM-motorji so tudi relativno lahki, imajo visok izkoristek, majhen jalovi tok ter ga lahko krmilimo z enostavnim vezjem. Omejeni pa so s številom vrtljajev in močjo. Razvijejo lahko do približno 10.000 obratov na minuto in moč do nekje 6 kW.

Vse bolj se uporabljajo predvsem v:

- robotiki,
- avtomobilski in vesoljski industriji,
- generatorjih,
- servomotorjih ter
- v črpalkah in ventilatorjih velikih moči.

### **3.6 Evropski trg elektromotorjev in krmilj za elektromotorje**

#### **3.6.1 Eurostat in Prodcom**

Kljub velikemu številu podatkov, s katerimi razpolagajo statistični uradi in ostale institucije, ki zbirajo informacije o velikosti in trendih trga, je te zelo težko natančno podati, ker so določeni podatki zaupni, nekatere države ne sodelujejo v raziskavah in zaradi same velikosti trga. V našem primeru nas zanima le trg na področju Evropske unije, ki ga lahko s pomočjo podatkov, pridobljenih z uradne strani Eurostata, Evropskega statističnega urada, dokaj natančno analiziramo. Njegova ključna naloga je omogočiti primerjavo med državami in regijami. Izmed devetih tematskih področij, ki jih Eurostat pokriva, nas za naše potrebe zanima področje "Industrija, trgovina in storitve", katerega podpodročje so tudi "Industrijski proizvodi (Prodcom)".

Prodcom je sistem za zbiranje in objavljanje statističnih podatkov o proizvodnji industrijskih izdelkov. Temelji na klasifikaciji proizvodov, imenovani Prodcom List (seznam Prodcom), ki je sestavljena iz približno 4.500 naslovov, ki se nanašajo na proizvedene izdelke. Prodcom označuje izdelke z osemestno številko, izmed katerih se prve štiri nanašajo na klasifikacijo NACE (Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne). Ker Eurostat uporablja tako klasifikacijo NACE Revizijo 1 kot novejšo NACE Revizijo 2, moramo paziti, da med sabo primerjamo enako označene podatke. Kratica NACE pomeni "statistična klasifikacija gospodarskih dejavnosti v Evropski skupnosti" in je zakonsko sprejeta v vseh državah članicah. Razporeditev postavk NACE Revizija 2, ki so, kot že rečeno, tudi začetnice v Prodcom klasifikaciji, lahko najdemo v Uradnem listu Evropske unije (Uredba komisije (ES) št. 656/2007, 2010).

Do statističnih podatkov seznama Prodcom lahko prek spletni strani Eurostata dostopamo na dva načina. Prvi so že pripravljene datoteke Excel, drugi način pa je z brskanjem po podatkovni bazi strežnika metapodatkov.

Dodamo lahko, da se v Sloveniji uporablja izpeljanka seznama Prodcom, to je NIP (Nomenklatura industrijskih proizvodov). Ta je v osmih hierarhičnih ravneh, kolikor jih tudi Prodcom koda šteje, skladna je s seznamom Prodcom, vendar ima za potrebe podrobnejše nacionalne delitve še dodatno, deveto mesto.

### 3.6.2 Velikost trga EU

Iz seznama proizvodov Prodcom smo pridobili število izdelanih elektromotorjev in izdelkov, ki za svoje delovanje potrebujejo bodisi enega ali več elektromotorjev, in sicer na področju Evropske unije.

Zaradi prevelikega števila proizvodnih skupin smo manj zanimive z vidika podjetja ATech izločili. To so na primer elektromotorji moči nad 7,5 kW in stroji, ki za svoje delovanje potrebujejo elektromotorje večjih moči. Izvzeti so tudi vsi izdelki avtomobilske industrije in ostali proizvodi, namenjeni transportu, saj niso zajeti v direktivo EuP, kot je omenjeno v naslednjem poglavju.

Potencialno zanimivejše proizvodne skupine, v katerih je potreba po krmilju za elektromotorje, pa si lahko pogledamo v tabeli 1. Podatki so za območje EU-27 (Evropska unija s 27 državami članicami) v letu 2008 in so bili pridobljeni iz Excelovih preglednic Eurostata (Prodcom – (NACE Rev. 2), 2010). Vrednosti za letni promet so v tisočih.

Tabela 1: Seznam proizvodnih skupin po klasifikaciji Prodcom s kodo Prodcom, količinami letno izdelanih izdelkov, prometu in povprečni prodajni ceni v evrih na območju EU-27

Kategorije izdelkov (klasifikacija Prodcom)	Šifra Prodcom	Količina izdelanih izdelkov (letno v EU-27)	Letni promet v tisočih EUR (letno v EU-27)	Povprečna prodajna cena (ni v tisočih)
Kotli za centralno ogrevanje (razen kotlov iz HS 8402)	25211200	8.475.794	5.788.788,23	682,98
Univerzalni, izmenični/enosmerni motorji z močjo nad 37,5 W	27112100	25.219.873	1.850.671,13	73,38

Enofazni motorji na izmenični tok z močjo ≤ 750 W	27112230	72.109.079	1.620.449,64	22,47
Enofazni motorji na izmenični tok z močjo > 750 W	27112250	10.770.629	316.099,42	29,35
Večfazni motorji na izmenični tok z močjo ≤ 750 W	27112300	15.139.551	860.423,68	56,83
Večfazni motorji na izmenični tok z močjo od 750 W do 75 kW	27112403	958.434	2.179.388,06	227,39
Kombinirani hladilniki in zamrzovalniki z ločenimi zunanji vrati	27511110	7.464.694	1.944.956,30	260,55
Gospodinjski hladilniki (razen vgradnih)	27511133	4.776.799	1.025.952,07	214,78
Gospodinjski pomivalni stroji	27511200	9.374.667	2.387.525,98	254,68
Gospodinjski pralni in sušilni stroji	27511300	20.807.975	4.815.394,61	231,42
Gospodinjski ventilatorji z vgrajenim elektromotorjem moči ≤ 125 W	27511530	12.004.127	432.236,03	36,01
Nape z vgrajenim ventilatorjem z vodoravno stranico ≤ 120 cm	27511580	18.125.730	1.505.568,63	83,06
Sesalniki za prah z lastnim elektromotorjem z močjo ≤ 1 500 W z zmogljivostjo zbiralnika za prah ≤ 20 l	27512123	7.263.090	747.944,33	102,98
Drugi sesalniki za prah z lastnim elektromotorjem	27512125	4.070.453	318.739,97	78,31
Sesalniki za prah, tudi sesalniki za suho in mokro sesanje (razen sesalnikov z lastnim elektromotorjem)	27512410	666.755	100.000,00	149,98
Dozirne in proporcionalne črpalke	28131220	2.036.776	500.000,00	245,49
Druge batne črpalke	28131250	1.500.000	530.430,48	353,62
Druge tlačne črpalke z izmeničnim gibanjem, membranske	28131280	4.500.000	273.763,46	60,84
Druge tlačne črpalke z rotacijskim gibanjem	28131380	3.016.958	463.177,92	153,52
Potopne rotacijske črpalke, večstopenjske	28131415	2.430.000	521.863,26	214,76
Obtočne črpalke za ogrevalne sisteme in toplo vodo	28131417	12.738.667	930.803,92	73,07
Druge centrifugalne črpalke z izhodnim premerom > 15 mm, enostopenjske, z enojnim vhodnim pogonskim kolesom (rotorjem)	28131453	1.322.901	963.707,89	728,48
Centrifugalne črpalke z izhodnim premerom > 15 mm, večstopenjske	28131460	1.550.000	953.782,12	615,34
Druge centrifugalne črpalke, enostopenjske	28131471	2.000.000	652.984,94	326,49
Kompresorji za hladilne naprave	28132300	36.804.796	2.392.659,76	65,01
Drugi kompresorji	28132800	2.400.000	874.590,88	364,41
Klimatske naprave z vgrajeno hladilno enoto (razen za motorna vozila, okenske in stenske naprave)	28251250	2.392.894	2.255.096,82	942,41
Klimatske naprave brez vgrajene hladilne enote	28251270	1.715.146	1.715.716,35	1.000,33
Toplotne črpalke, ki niso klimatske naprave	28251380	562.107	2.000.000,00	3.558,04
Osni ventilatorji	28252030	24.000.000	936.570,19	39,02

Centrifugalni ventilatorji	28252050	6.000.000	1.281.425,52	213,57
Drugi ventilatorji	28252070	5.687.952	985.618,78	173,28
Industrijski pomivalni stroji	28295000	361.557	728.920,91	2.016,06
Stroji za brušenje, glajenje in poliranje, za obdelavo lesa, plute, kosti, trde gume, trde plastike ali podobnih trdih materialov	28491263	1.118.495	169.291,04	151,36
Stroji za obdelavo lesa, plute, kosti, trde gume, trde plastike ali podobnih trdih materialov, d. n.	28491279	1.200.000	516.504,47	430,42
Pralni stroji za gospodinjstva in pralnice, kapacitete > 10 kg perila	28942230	37.365	229.295,44	6.136,64
Stroji za kemično čiščenje vlaken, tkanin, tekstilnih izdelkov	28942250	14.000	188.069,15	13.433,51
Sušilni stroji, kapacitete > 10 kg perila	28942270	28.971	153.154,30	5.286,47
Sušilne centrifuge za tekstilne izdelke	28942300	60.000	31.817,98	530,30
Druge negospodinske sušilnice	28993150	180.000	756.410,44	4.202,28

V kolikor želimo izvedeti dejansko porabo izdelkov na območju EU, je potrebno iz baze metapodatkov (Prodcum, 2010) prišteti število uvoženih in odšteti število izvoženih proizvodov, kot je prikazano v tabeli 2. V tem primeru so podatki za leto 2009. Nekateri podatki manjkajo, drugi so očitno netočni. Kot primer lahko vzamemo predzadnjo postavko o centrifugalnih sušilnih strojih. Vidimo lahko, da je število izvoženih večje kot število izdelanih in uvoženih skupaj. Ena izmed razlag je veliko število izvoženih strojev, ki so bili uvoženi ali izdelani prejšnja leta, vendar je malo mogoča. Eurostat podatke na svoji strani večkrat dopolnjuje na podlagi novih ugotovitev, kar s časom pripomore k njihovi natančnosti.

Tabela 2: Seznam proizvodnih skupin po klasifikaciji Prodcum, količinah letno izdelanih izdelkov, številu uvoženih ter izvoženih izdelkov in predvideni uporabi izdelkov na območju EU-27

Kategorije izdelkov (klasifikacija Prodcum)	Količina izdelanih izdelkov (letno v EU-27)	Število uvoženih izdelkov (letno v EU-27)	Število izvoženih izdelkov (letno v EU-27)	Poraba izdelkov (letno v EU-27)
Kotli za centralno ogrevanje (razen kotlov iz HS 8402)	6.946.118	-	-	-
Univerzalni, izmenični/enosmerni motorji z močjo nad 37,5 W	22.449.505	13.514.062	7.570.673	28.392.894
Enofazni motorji na izmenični tok z močjo ≤ 750 W	69.106.698	8.037.901	5.575.832	71.568.767
Enofazni motorji na izmenični tok z močjo > 750 W	6.300.000	4.864.462	1.362.409	9.802.053
Večfazni motorji na izmenični tok z močjo ≤ 750 W	9.029.857	101.968.391	1.813.672	109.184.576

Večfazni motorji na izmenični tok z močjo od 750 W do 75 kW	5.824.425	1.498.960	869.588	6.453.797
Kombinirani hladilniki in zamrzovalniki z ločenimi zunanji vrati	5.914.496	3.583.401	820.387	8.677.510
Gospodinjski hladilniki (razen vgradnih)	3.388.192	5.641.203	1.194.815	7.834.580
Gospodinjski pomivalni stroji	9.473.576	2.086.838	1.483.567	10.076.847
Gospodinjski pralni in sušilni stroji	23.510.293	-	-	-
Gospodinjski ventilatorji z vgrajenim elektromotorjem moči ≤ 125 W	11.094.657	11.209.988	2.232.831	20.071.814
Nape z vgrajenim ventilatorjem z vodoravno stranico ≤ 120 cm	10.558.305	2.400.207	2.318.776	10.639.736
Sesalniki za prah z lastnim elektromotorjem z močjo ≤ 1 500 W, z zmogljivostjo zbiralnika za prah ≤ 20 l	7.454.428	15.310.476	1.291.150	21.473.754
Drugi sesalniki za prah z lastnim elektromotorjem	4.292.843	14.657.143	2.434.785	16.515.201
Sesalniki za prah, tudi sesalniki za suho in mokro sesanje (razen sesalnikov z lastnim elektromotorjem)	400.000	2.355.008	185.071	2.569.937
Dozirne in proporcionalne črpalke	1.538.548	12.038.655	1.743.666	11.833.537
Druge batne črpalke	298.434	1.368.249	5.545.598	-3.878.915
Druge tlačne črpalke z izmeničnim gibanjem, membranske	6.000.000	1.093.048	541.378	6.551.670
Druge tlačne črpalke z rotacijskim gibanjem	1.510.888	3.366.075	1.435.391	3.441.572
Potopne rotacijske črpalke, večstopenjske	1.659.581	211.667	269.642	1.601.606
Obtočne črpalke za ogrevalne sisteme in toplo vodo	16.380.034	1.341.133	3.015.129	14.706.038
Druge centrifugalne črpalke z izhodnim premerom > 15 mm, enostopenjske, z enojnim vhodnim pogonskim kolesom (rotorjem)	1.168.842	122.987	618.448	673.381
Centrifugalne črpalke z izhodnim premerom > 15 mm, večstopenjske	645.652	4.958	903.210	-252.600
Druge centrifugalne črpalke, enostopenjske	2.769.321	3.349.319	780.683	5.337.957
Kompresorji za hladilne naprave	29.871.916	11.496.663	11.675.162	29.693.417
Drugi kompresorji	1.800.000	7.303.313	1.360.091	7.743.222
Klimatske naprave z vgrajeno hladilno enoto (razen za motorna vozila, okenske in stenske naprave)	1.593.176	-	-	-
Klimatske naprave brez vgrajene hladilne enote	1.284.309	-	-	-
Toplotne črpalke, ki niso klimatske naprave	573.831	-	-	-
Osni ventilatorji	18.889.627	42.337.260	8.182.417	53.044.470
Centrifugalni ventilatorji	6.615.188	2.091.125	5.094.962	3.611.351
Drugi ventilatorji	4.960.000	15.421.359	4.678.907	15.702.452

Industrijski pomivalni stroji	291.090	14.472	68.548	237.014
Stroji za brušenje, glajenje in poliranje, za obdelavo lesa, plute, kosti, trde gume, trde plastike ali podobnih trdih materialov	784.566	216.726	27.467	973.825
Stroji za obdelavo lesa, plute, kosti, trde gume, trde plastike ali podobnih trdih materialov, d. n.	200.000	576.305	210.356	565.949
Pralni stroji za gospodinjstva in pralnice, kapacitete > 10 kg perila	31.871	15.914	40.832	6.953
Stroji za kemično čiščenje vlaken, tkanin, tekstilnih izdelkov	10.400	-	-	-
Sušilni stroji, kapacitete > 10 kg perila	26.127	-	-	-
Sušilne centrifuge za tekstilne izdelke	1.533	59.520	333.519	-272.466
Druge negospodinske sušilnice	82.211	-	-	-

Med naštetimi kategorijami izdelkov je tudi nekaj takih, ki se v nekaterih primerih tržijo brez regulacije elektromotorjev. To so največkrat samostojni elektromotorji, ki se jim običajno, v kolikor je potrebno, dokupi krmilja ter črpalke in ventilatorji.

Ne glede na morebitne napake v statistiki lahko ob pregledu tabele 2 vidimo, da na področju Evropske unije uvozimo nekajkrat več proizvodov, kot jih izvozimo. Podatki niso presenetljivi, saj se je v zadnjih letih veliko industrije zaradi cenejše delovne sile preselilo v države izven EU, kot posledica pa je uvoz v EU narasel.

Natančnejše podatke o velikosti in lastnosti trga smo predstavili v sklopu opisa zanimivejših študij, tabeli 1 in 2 nam služita za hiter pregled nad celotnim trgom proizvodnih skupin v Evropski uniji, ki smo jih izbrali kot potencialno zanimive.



## **4 DIREKTIVA EUP**

### **4.1 Eco-design**

Evropska unija je leta 2005 oblikovala program Eco-design, ki je pristojen organ za določanje zahtev za okoljsko primerno zasnovo izdelkov, ki rabijo energijo, na področju Evropske unije. Eco-design na podlagi direktive skozi uredbe dosledno določa pravila za vse članice Evropske unije, kar pomeni, da veljajo predpisi na celotnem območju Evropske unije ter tako spodbujajo prosti trg med članicami. Osnovna zamisel ekološkega načrtovanja izdelkov je z izboljšanim načrtovanjem na začetku zmanjšati njegove vplive na okolje skozi celotni življenjski cikel, saj je dokazano, da je več kot 80 % vpliva na okolje nekega izdelka določeno že v fazi načrtovanja.

Eden izmed predpisov za Eco-design je tudi program EuP – Ekološko načrtovanje iz direktive o izdelkih, ki rabijo energijo.

### **4.2 Program EuP**

Program EuP, kot mu že ime narekuje, se ukvarja z izdelki, ki za svoje delovanje potrebujejo energijo. Zajema praktično vse izdelke ter polizdelke, ki za svoje delovanje potrebujejo, proizvajajo, transportirajo ali merijo električno, fosilno ali obnovljivo energijo. Iz programa so izvzeti le proizvodi za transport, to so avtomobili, letala, ladje itd.

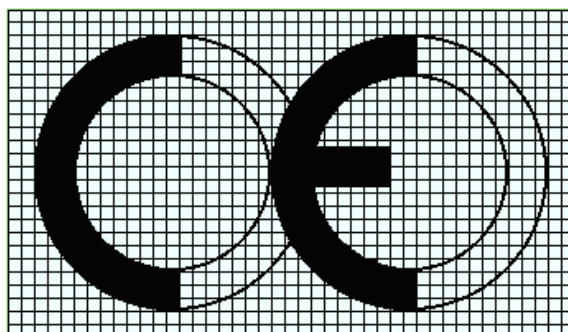
Eden izmed vidikov programa EuP je vpliv na odločevalne navade tako potrošnikov kot tudi kupcev v poslovnem sektorju. Drugi vidik, ki cilja na proizvajalce izdelkov, zahteva od proizvajalcev oblikovanje izdelka v skladu s programom EuP.

Program EuP je razdeljen na več podskupin, ki na podlagi zelo obsežnih, običajno večletnih pripravljalnih študij preučujejo stanje na trgu, definirajo razpoložljive tehnologije in ovrednotijo možnosti za izboljšave. Na podlagi teh pripravljalnih študij se nato pripravijo osnutki uredb, ki jih po potrebah še dodatno preoblikujejo. Ko so uredbe dokončno definirane, jih Evropska komisija sprejme in objavi v Uradnem listu Evropske unije. Po dvajsetih dneh od datuma objave začne uredba komisije v vseh članicah Evropske unije tudi veljati.

Direktiva lahko skozi uredbe komisije uvede dva tipa obveznih zahtev. Prvi so specifične zahteve, ki na primer natančno določajo maksimalno porabo ali pa minimalne količine materiala za recikliranje. Drugi tip pa predstavljajo generalne zahteve, na primer opisne, kot je *poraba naj bo čim manjša*, ali pa so le informativne narave, na primer priporočila za materiale, tehniko izdelave proizvoda in podobno.

V kolikor je uredba sprejeta in veljavna pa še ne pomeni, da se morajo proizvajalci držati predpisov od dneva začetka uredbe. Čas od začetka veljave uredbe do obveznosti proizvajalcev in trgovcev, da poskrbijo za to, da so na trgu le ustrezni izdelki, je običajno vsaj eno leto. Zahteve pridejo v veljavo običajno v več stopnjah z več letnimi razmiki. Ti veliki časovni razponi so namenjeni temu, da se proizvajalci izdelkov lahko pripravijo na spremembo zakonodaje brez prevelikih stroškov razvoja novih proizvodov. Do vseh dokumentov zakonodaje Evropske unije lahko javno dostopamo prek spletne strani (Dostop do zakonodaje, 2010).

Ob morebitnemu nedoseganju zahtev se izdelek na območju EU ne sme prodajati, saj ne pridobi ustrezne oznake CE, ki je dobro poznana in cenjena med potrošniki in predstavlja proizvod, ki je v skladu z Evropsko zakonodajo. Oznaka CE mora biti visoka vsaj 5 milimetrov ali, v kolikor to ni mogoče, pritrjena na embalažo z dodanimi pripadajočimi dokumenti. Prikazana je na sliki 10.



Slika 10: Oznaka CE (What is CE Marking (CE Mark)?, 2010)

### 4.3 Študije EuP

Pripravljalne študije EuP se ne le ukvarjajo z izkoristki samih komponent (npr. elektromotorjev), temveč v ozir vzamejo celoten izdelek. To pomeni, da preučujejo tudi možne izkoristke ostalih komponent izdelka ter cene in skladnost materialov, uporabljenih za celotni izdelek. Tako dobijo okvirno ceno celotnega izdelka. Tej ceni

dodajo ceno električne energije, ki jo izdelek tekom predvidene življenjske dobe porabi, in na ta način dobijo LCC (Life Cycle Cost) izdelka, ki nam pove celoten strošek, ki ga bomo imeli z nakupom izdelka. Na podlagi LCC-ja se primerja različne pristope izboljšanja učinkovitosti izdelka. Prednost dobijo seveda rešitve, ki imajo dobro razmerje med ceno ter izboljšanjem izkoristka izdelka. Poleg življenjskega cikla izdelka je v študijah upoštevano tudi, kako ekološko prijazen je izdelek po koncu svojega delovanja, kar pomeni, da imajo pri snovanju izdelkov prednost materiali, ki se jih da bolje reciklirati.

Vse pripravljalne študije EuP so označene s tako imenovanimi loti (sklopi). Vsak lot pokriva določeno skupino proizvodov, kateri Evropska komisija dodeli skupino strokovnjakov s področja, ki so odgovorni za izdelavo študije. Ti s pomočjo večjih proizvajalcev in interesnih skupin izdelajo celostno študijo in obsežno končno poročilo. Večina dokumentov, vključno s končnim poročilom, je javnih in objavljenih na straneh posamezne študije.

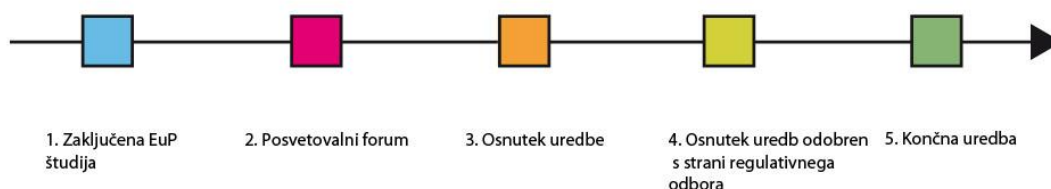
Ob začetku programa Eco-design je bilo istočasno začetih tudi štirinajst ločenih pripravljalnih študij, katerim tekom let dodajajo nove. Celoten seznam trenutnih študij EuP je prikazan v tabeli 3.

Tabela 3: Seznam vseh študij EuP (Products covered, 2010)

<b>Študije EuP in lot</b>	
Kotli in kombinirani kotli, lot 1	Sesalniki, lot 17
Grelniki vode, lot 2	Kompleksni TV-komunikatorji, lot 18
Računalniki in računalniški monitorji, lot 3	Enostavni TV-komunikatorji lot 18a
Oprema za preslikovanje, lot 4	Neusmerjena svetila za gospodinjsko uporabo, lot 19
Televizije, lot 5	Usmerjena svetila za gospodinjsko uporabo, lot 19 2. del
Izgube v stanju pripravljenosti in izključnosti izdelkov, ki rabijo energijo, lot 6	Proizvodi za lokalno ogrevanje prostorov, lot 20
Polnilniki baterij in zunanji napajalniki, lot 7	Proizvodi za centralno ogrevanje(brez naprav za sproizvodnjo toplote in električne energije), lot 21
Terciarna razsvetljava, lot 8–9	Pečice za gospodinjsko in komercialno rabo, lot 22
Klimatske naprave, lot 10	Kuhalniki in žari za gospodinjsko in komercialno rabo, lot 23
Elektromotorji moči od 1do 150 kW, lot 11	Pralni, pomivalni in sušilni stroji za profesionalno uporabo, lot 24

Ventilatorji, lot 11	Kavni aparati za ne terciarno uporabo , lot 25
Črpalke v stavbah, lot 11	Omrežne izgube v stanju pripravljenosti, lot 26
Električne črpalke, lot 11	Oprema za hlajenje in zamrzovanje, ENTR lot 1
Komercialni hladilniki in zamrzovalniki, lot 12	Razdelilni in močnostni transformatorji, ENTR lot 2
Hladilniki in zamrzovalniki za gospodinjsko uporabo, lot 13	Zvočna in video oprema, ENTR lot 3
Pralni stroji za gospodinjsko uporabo, lot 14	Industrijske peči, ENTR lot 4
Pomivalni stroji za gospodinjsko uporabo, lot 14	Obdelovalni stroji, ENTR lot 5
Kurilne naprave na trda goriva manjših moči, lot 15	Klimatske naprave za terciarno uporabo, ENTR lot 6
Sušilni stroji, lot 16	Oprema za obdelavo medicinskih slik (še brez št.)

Ko se študija EuP zaključi, je v procesu do sprejetja uredb in njihove objave v Uradnem listu Evropske unije potrebnih več korakov. Ključni koraki od končane študije do objave v Uradnem listu so prikazani na sliki 11. Najprej je prikazan zaključek pripravljalne študije. Po zaključku študije komisija pripravi delovni dokument, v katerem predstavi ugotovitve in priporočila. Zatem se ta delovni dokument da v pregled različnim strokovnjakom, interesnim skupinam in predstavnikom držav EU. Te skupine se sestanejo na posvetovalnem forumu, kjer predlagajo spremembe dokumenta. Ko komisija formulira spremembe in pripravi osnutek uredbe, je ta osnutek predan na vpogled regulativnemu odboru, ki ga sestavljajo predstavniki vsake izmed držav EU. Ko regulativni odbor z glasovanjem sprejme osnutek uredb, so le-te posredovane Evropskemu parlamentu ter predstavljene Svetovni trgovski organizaciji. Nazadnje je uredba komisije formalno sprejeta in objavljena v Uradnem listu Evropske unije.



Slika 11: Proces EuP (Products covered, 2010)

## 5 PODROBNEJŠI PREGLED ZANIMIVEJŠIH ŠTUDIJ EUP

Omeniti velja, da študije EuP obsegajo več sorodnih proizvodnih skupin, za katere pa redko veljajo iste minimalne zahteve. Običajno je tako iz čisto tehničnega razloga, ker vse naprave, pa čeprav iz sorodnih proizvodnih skupin, ne morejo delovati z enakimi izkoristki ali pa dosežati drugih specifično postavljenih zahtev.

Za podrobnejši pregled študij smo se odločili zaradi potrebe po identifikaciji proizvoda, ki bo ustrezal prihajajočim zahtevam direktive EuP in bil tudi tržno zanimiv. Ob tem smo upoštevali izkušnje in znanja, s katerimi razpolaga podjetje ATech.

Zaradi velikega obsega proizvodnih skupin, prikazanih v tabeli 1, smo se odločili za podrobnejšo preučitev nekaj za nas zanimivejših. Za določanje teh smo si pomagali z ocenami tržnega potenciala izdelkov, ki jih obsegajo. Oceno potenciala smo pridobili s pomočjo velikosti, rasti, zasičenja ter trendi trga.

Zaradi nazornejšega in bralcu jasnejšega poimenovanja sem proizvodne skupine logično združil in poenostavil. Tako združene so nam bližje in skoraj v celoti tudi ustrezajo delitvi študij EuP.

Te poenostavljene skupine so:

- elektromotorji,
- kuhinjske nape,
- ventilatorji,
- kompresorji v hladilnih napravah,
- električne črpalke in
- pralni, pomivalni ter sušilni stroji.

### 5.1 Elektromotorji

Študija o elektromotorjih (Aníbal T. de Almeida, 2008), ki, kot je razvidno iz tabele 3, spada pod lot 11, je bila zaključena februarja 2008. Sama uredba pa je bila sprejeta v Uradnem listu Evropske unije 12. avgusta 2009, vendar zaenkrat še ne veljajo minimalne zahteve, ki jih prinaša. Te bodo uvedene v treh nivojih, prvi bo nastopil z

letom 2011, drugi z letom 2015 in zadnji leta 2017. Natančne zahteve, ki jih uredba uvaja, dobimo na uradnih straneh zakonodaje Evropske unije (Uredba komisije (ES) št. 640/2009, 2010).

### **5.1.1 Trg elektromotorjev**

Na splošno je trg elektromotorjev zrel, pričakuje pa se rahla rast v prodaji v bližnji prihodnosti. To je pa predvsem zaradi vse večjega povpraševanja v Vzhodni Evropi. Na trgu dominirajo AC-motorji, saj predstavljajo okrog 96 % vseh prodanih motorjev v EU. Največji delež pa predstavljajo trifazni indukcijski motorji (87 % AC, 83,5 % vseh).

DC-motorji, z izjemo BLDC\_motorjev (katerim tržni delež raste), hitro izginjajo s trga, saj jih nekaj večjih proizvajalcev ne proizvaja več. Prodaja krtačnih DC-motorjev vsako leto pade za od 10 do 15 %. BLDC-motorji se predvsem prebijajo v uporabo v motorjih nižjih moči (0,75–5 kW) in zaradi napredka tehnologije tako v elektroniki kot v izdelavi magnetnih materialov ter večje proizvodnje njihova cena pada.

Med AC-motorji se pričakuje manjše povečanje prodaje trifaznih indukcijskih motorjev, predvsem zaradi zamenjave starih motorjev. Enofazni motorji pa naj bi počasi izgubljali na prodajni količini, saj zaradi povečane uporabe frekvenčnih pretvornikov lahko v isto napravo vgradimo cenejši in učinkovitejši trifazni motor.

### **5.1.2 Tehnična analiza motorjev**

Študija preučuje vse faze življenjskega kroga elektromotorjev ter si na ta način pomaga oblikovati končne zahteve za načrtovanje izdelkov. Za določitev začetnih stroškov izdelave elektromotorjev si pomaga z BoM (Bill-of-Materials) analizo. To je analiza, pri kateri se izračuna količino in ceno surovin za izdelavo motorja in tako poizkuša le-te zmanjšati.

Največji strošek elektromotorja v obdobju delovanja je nedvoumno električna energija. Študija kot primer podaja podatke za leto 2000, v katerem so elektromotorji v industriji porabili 650 TWh električne energije, v terciarnem sektorju pa 209,7 TWh. Na splošno je bilo ugotovljeno, da elektromotorji porabijo približno 70 %

energije v industriji in okrog tretjino v terciarnem sektorju. Podatki so za EU-25 (Evropska unija s 25 državami članicami).

S pomočjo analize BAT (best available technology – trenutno najboljša tehnologija) so predstavljene možne izboljšave na trgu. Izboljšave, katere je mogoče doseči brez prevelikega dviga proizvodne cene, se upošteva pri oblikovanju zahteve uredbe. Ugotovljeno je, da je mogoče z boljšim dizajnom, boljšimi magnetnimi materiali in strožimi tolerancami pri izdelavi izboljšati najbolj uporabljene, indukcijske motorje. Taki motorji zaradi boljšega izkoristka delujejo pri nižjih temperaturah, kar doprinese k podalšanju življenjske dobe ter zanesljivosti. Če pa bi indukcijske motorje manjših moči zamenjali s še ne tako uporabljenimi BLDC-motorji, bi to prineslo od 10 do 15 % prihranka električne energije v tem segmentu.

### **5.1.3 Krmilja za elektromotorje**

Sicer namen študije ni obravnava krmilj za elektromotorje, ker pa se vse več elektromotorjev proda skupaj s frekvenčnim pretvornikom, se jih opredeli kot del možnih izboljšav izkoristka motorja. Za frekvenčni pretvornik se v študiji uporablja kratica VSD (Variable Speed Drive).

Z uporabo frekvenčnega pretvornika se izboljša kontrola procesa, zmanjša obraba mehaničnih delov in poraba energije ter zniža glasnost hrupa. Seveda pa ne smemo pozabiti, da se z VSD-ji da privarčevati le v primerih, ko potrebujemo spremenljive hitrosti delovanja motorja. Frekvenčni pretvornik kot tak porabi približno 3–5 % energije pri polnem obratovanju motorja (odvisno od velikosti in obremenitve), zato moramo motorju pri polni obremenitvi pri podajanju izkoristka ta odstotek odšteti. Splošno gledano so največji prihranki z VSD-jem mogoči pri črpalkah, ventilaciji ter kompresorjih.

## **5.2 Kuhinjske nape**

Študija EuP o kuhinjskih napah (Study on residential ventilation, 2008) zajema tudi sobne klimatske naprave, ventilatorje za prezračevanje in za druge namene v stanovanjskih stavbah. Medtem ko je sama študija že zaključena, je uredba še v oblikovanju.

Tipične kuhinjske nape naj bi za delovanje potrebovale med 100 in 300 W, pretok zraka pa imele med 200 in 1000 m<sup>3</sup>/h. Običajno uporabljajo centrifugalne ventilatorje. Čeprav so v klasifikaciji Prodcom označene le nape do 120 cm, bo sprejeta uredba veljala za vse, ker ni kategorije ki bi zajemala nape z več kot 120 cm ventilatorji. Ravno tako ne velja omejitev do 125 W, ki se drugače uporablja v študiji in klasifikaciji Prodcom.

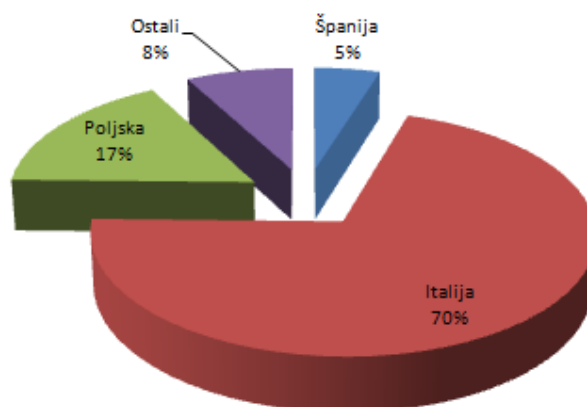
### 5.2.1 Trg kuhinjskih nap

Po klasifikaciji Prodcom iz leta 2008 je sestavljena tabela 4, iz katere je razvidno število proizvedenih nap ter število uvoza, izvoza in dejanske porabe na področju EU-27. Poleg števila izdelkov je prikazan tudi denarni tok. Podatki so v tisočih.

Tabela 4: Število proizvedenih nap v letu 2008 v EU-27 po statistiki Prodcom (Prodcom, 2010)

Šifra Prodcom	Kategorije izdelkov	Enota	Proizvodnja EU-27	Uvoz	Izvoz	Poraba na območju EU
27511580	Nape z vgrajenim ventilatorjem z vodoravno stranico <= 120 cm	p/st	18.126	2.457	3.387	17.195
		EUR	1.505.569	93.991	303.114	1.296.446

Zanimiva je tudi slika 12, ki nam s pomočjo krožnega diagrama prikazuje razporeditev proizvodnje kuhinjskih nap v Evropi po državah.



Slika 12: Države proizvajalke kuhinjskih nap po statistiki Prodcom (Prodcom, 2010)



## **5.2.2 Elektromotorji v kuhinjskih napah**

Proizvajalci nap zaenkrat zaradi nizke cene še vedno uporabljajo predvsem elektromotorje z zasenčenimi poli, ki imajo izkoristek okrog 20 %. Poleg teh so v uporabi tudi nekoliko boljši univerzalni in kolektorski motorji z izkoristkom med 20 in 40 %. Kot je v študiji EuP predstavljeno, bi jih lahko nadomestili z nekoliko učinkovitejšimi enofaznimi asinhronskimi motorji, katerih izkoristek se giblje okrog 40 %. Trenutno najboljši pa so elektronsko komutirani motorji (EC), ki za moči, namenjene napam, dosegajo izkoristek okrog 70 %. Izkoristki so podani za motorje majhnih moči, ki so primerni za nape. Iz študije lahko pričakujemo, da se bodo, v kolikor se bodo proizvajalci nap odločili za učinkovitejšo rešitve motorjev, odločili za EC-motorje, in sicer zaradi njihove učinkovitosti skozi celoten razpon delovanja in zaradi dobrega izkoristka pri majhnih močeh, ki je primeren za nape.

## **5.2.3 Krmilja za elektromotorje v napah**

Trenutno ima velika večina kuhinjskih nap tri nastavitve hitrosti, vendar velja pravilo med proizvajalci, da se meritve izvajajo pri predzadnji, običajno drugi hitrosti (to je zaradi hrupnosti delovanja, vendar nekateri proizvajalci oglašujejo pretok zraka pri zadnji hitrosti). V študiji je ugotovljeno, da večina uporabnikov uporablja kuhinjske nape skorajda izključno na zadnji hitrosti, kar naredi uporabo naprednejših krmil, kot so frekvenčni pretvorniki, nesmiselno. V kolikor pa bodo proizvajalci začeli uporabljati EC-motorje, je uporaba krmilj v kuhinjskih napah neizogibna.

## **5.3 Ventilatorji**

Študija o nestanovanjskih ventilatorjih (Radgen P., Oberschmidt J., 2008) tako kot o črpalkah in že opisanih elektromotorjih spada pod lot 11, čeprav so popolnoma ločene. Študija je zaključena in uredba dokončno odobrena s strani regulativnega odbora. Sledi vpis v Uradni list Evropske unije.

### **5.3.1 Trg ventilatorjev**

Trg ventilatorjev je dobro razvit, vendar zaradi vse večje potrebe po hlajenju in ogrevanju, tako v domačem kot industrijskem okolju, počasi, a nenehno rase. Trendi kažejo, da se povečuje raba tako imenovanega "direct drive" pogona, kar pomeni, da

je motor pritrjen na os ventilatorja. Za ta namen se v večini primerov uporabljajo motorji z zunanjim rotorjem ter učinkovitejši EC-motorji. Naslednji opažen trend je uporaba frekvenčnih pretvornikov, posebej pri večjih AC-motorjih.

Največ ventilatorjev, tako aksialnih kot centrifugalnih, se izdelava v Nemčiji. Sledijo ji še Italija, Španija, Francija ter Velika Britanija. Med aksialnimi tudi Madžarska, vendar se zaradi zelo majhnega tržnega deleža v evrih predvideva, da izdeluje predvsem cenejše računalniške ventilatorje.

Kot je iz statistike Prodcom moč razbrati, se je v Evropi leta 2008 izdelalo okrog 24 milijonov aksialnih ter 6 milijonov centrifugalnih ventilatorjev. Iz tabele 5 je razvidno tudi število uvoza, izvoza ter dejanske porabe ventilatorjev v EU ter tudi vrednosti, izražene v evrih. Številke so tako za kose kot tudi za vrednosti v tisočih. Podatki izključujejo namizne, talne, zidne, okenske, stropne in strešne ventilatorje moči pod 125 W, vključujejo pa ventilatorje, uporabljene v računalnikih.

Tabela 5: Proizvodnja, uvoz, izvoz ter dejanska poraba aksialnih ter centrifugalnih ventilatorjev v EU-27 leta 2008 (Prodcom, 2010)

Šifra Prodcom	Tip	Enota	Proizvodnja EU-27	Uvoz	Izvoz	Poraba na območju EU
28252030	Aksialni	p/st	24.000	49.139	11.269	61.870
		EUR	936.570	207.010	385.898	757.683
28252050	Centrifugalni	p/st	6.000	3.016	6.429	2.587
		EUR	1.281.426	45.158	307.677	1.018.906

Ker je delitev na aksialne ter centrifugalne ventilatorje preveč skopa, jih študija razdeli na skupine, prikazane v tabeli 6. Poleg same delitve v skupine je v tabeli prikazano število ventilatorjev, vgrajenih v nestanovanjske objekte leta 2005, ter predvideno število ventilatorjev v uporabi leta 2005 ter 2025. Podatki za predvideno število so v zelo velikem razponu, saj je natančnejše podatke zelo težko dobiti, a je vseeno razbrati veliko rast trga vseh ventilatorjev.

Tabela 6: Razvrstitev ventilatorjev po študiji EuP, število vgrajenih ter predvideno število ventilatorjev v uporabi (Radgen P., Oberschmidt J., 2008)

Kategorija po EuP	Smer pretoka	Tip	Število ventilatorjev, vgrajenih v nestanovanjske objekte	Predvideno število ventilatorjev v uporabi v nestanovanjskih objektih	
				2005	2025
1	Aksialni	<= 300 Pa (statični tlak)	718.075	6,1 - 7,3 mio.	14 - 40,4 mio.
2	Aksialni	> 300 Pa (statični tlak)	1.994.653	16,8 - 20,2 mio.	38,8 - 122,3 mio.
3	Centrifugalni	Z naprej zakrivljenimi lopaticami (z ohišjem)	1.091.680	9,2 - 10,3 mio.	16,8 - 61,4 mio.
4	Centrifugalni	Z nazaj zakrivljenimi lopaticami (brez ohišja)	337.563	2,8 - 3,2 mio.	5,2 - 19 mio.
5	Centrifugalni	Z nazaj zakrivljenimi lopaticami (z drsnim ohišjem)	376.180	3,2 - 3,5 mio.	5,8 - 21,2 mio.
6	Drugi	Kanalski ventilatorji	1.532.397	20,6 - 23 mio.	29,8 - 86,3 mio.
7	Drugi	Strešni ventilatorji	2.694.325	36,2 - 40,4 mio.	52,5 - 151,7 mio.
8	Drugi	Prečni (Cross-flow) ventilatorji	182.428	2,4 - 2,7 mio.	3,6 - 10,3 mio.

### 5.3.2 Krmilna elektronika v ventilatorjih

Za krmiljenje hitrosti ventilatorjev je v večini primerov uporabljen način, s katerim ne pripomoremo k varčevanju energije. To je s spremenljivimi transformatorji (variaki) ali triaki. Pogosteje se regulacijo s frekvenčnimi pretvorniki, ki so energetske učinkovita krmilja, uporablja pri ventilatorjih večjih moči, kjer so prihranki energije tudi najbolj opazni. V praksi se frekvenčne pretvornike največkrat dokupi posebej, a trendi kažejo, da se vse več motorjev proda skupaj s krmiljem hitrosti. Zavedati se moramo, da frekvenčni inverterji niso vedno smotni. Njihovo smotnost se določi na podlagi predvidenega načina uporabe ventilatorja. V kolikor je predvideno, da bo večinoma deloval s polno močjo, je uporaba frekvenčnega pretvornika nesmiselna.

## 5.4 Kompresorji v hladilnih napravah

Kompresorji nimajo lastne študije, so pa vključeni v študijo o domačih hladilnih in zamrzovalnih napravah (Faberi in drugi, 2008), študijo o komercialnih hladilnih in zamrzovalnih napravah ter v leta 2009 začeto študijo o napravah za hlajenje in zamrzovanje. Slednja je še v teku, ostali dve sta pa končani, s tem da je študija o domačih napravah 12. avgusta 2009 stopila v veljavo, študija o komercialnih napravah pa je v fazi pripravljanja zahtev.

### 5.4.1 Trg kompresorjev

Velikost trga kompresorjev v hladilnih napravah je teže opredeliti, saj so kompresorji del zgoraj opisanih študij EuP, nimajo pa svoje študije. Vseeno se s pomočjo statistike Prodcum da dobiti podatke. Predstavljeni so v tabeli 7, ki so, tako kot pri napravah in ventilatorjih, v tisočih.

Tabela 7: Proizvodnja kompresorjev leta 2008 v EU-27 (Prodcum, 2010)

Sifra Prodcum	Kategorije izdelkov	Enota	Proizvodnja EU-27	Uvoz	Izvoz	Poraba na območju EU
28132300	Kompresorji za hladilne naprave	p/st	36.805	15.992	15.521	37.276
		EUR	728.921	971.554	986.794	713.681
28132800	Drugi kompresorji	p/st	2.400	8.864	1.347	9.917
		EUR	874.591	238.771	583.820	529.542

### 5.4.2 Krmilna elektronika kompresorjev

Za različne potrebe po hlajenju obstaja več rešitev. Pri majhnih potrebah po hlajenju je običajen kompresor premočan, zato proizvajalci v ta namen izdelujejo manjše kompresorje z manjšo prostornino. S tem pa se povečujejo mehanske izgube, kar privede do manjšega koeficienta učinkovitosti (COP – coefficient of performance). V ta namen obstajajo posebni "rated-speed" motorji, ki s spremembo frekvence spreminjajo vrtljaje motorja med dvema hitrostma, obenem pa obdržijo večjo prostornino motorja. Tako dobimo kompresor za manjše naprave z izkoristkom velikih.

Naprednejša rešitev pa je elektronsko vezje, ki s spreminjanjem frekvence regulira hitrost motorja, kar je podobna rešitev, kot jo ima "rated speed" motor, le da nismo omejeni le na dve hitrosti, kar pomeni, da lahko reguliramo hladilno sposobnost po potrebi. K temu lahko dodamo, da lahko s tem regulatorjem posebej po potrebi krmilimo tudi ventilator in s tem zmanjšamo hrup ter se rešimo nekaterih težav z odmrzovanjem pri zamrzovalnikih. Zaradi cene elektronike, potrebne za tako krmilje (ki pada), se proizvajalci še ne odločajo za to rešitev. V študiji o komercialnih napravah (Monier in drugi, 2007) pa poročajo o vedno večjemu odločanju proizvajalcev za izvedbo s krmiljem hitrosti, bodisi s frekvenčnim pretvornikom ali EC-motorji. V splošnem velja, če kompresor za delovanje povprečno potrebuje manj kot 80 % moči, nam uvedba frekvenčnega pretvornika prinese zmanjšanje porabe električne energije.

## **5.5 Električne črpalke**

Študija o črpalkah (Falkner, 2008), ki kot že omenjeno spada pod lot 11, je zaključena in poteka priprava zahtev.

### **5.5.1 Trg električnih črpalk**

Zaradi velikega števila proizvodnih skupin črpalk smo se odločili, da velikosti trga ne bomo predstavljali podrobneje. Vseeno pa si s pomočjo tabele 8 lahko ogledamo število proizvedenih črpalk različnih proizvodnih skupin v EU leta 2008. Omenimo lahko, da se največ črpalk (79 %) proda med 0,75 in 7,5 kW moči. Ostale so močnejše.

V tabeli 8 so naštet glavne vrste črpalk in v procentih, koliko se jih proda s krmilnikom za hitrost (VSD). Kot lahko vidimo, se kar 30 % tako imenovanih črpalk ESCCi (End Suction Close Coupled in line) proda skupaj z regulacijo hitrosti, ostalih tipov pa zanemarljivo malo. Temu je tako, ker se črpalke ESSCCi v večini uporabljajo v cirkulacijskih sistemih, kjer je potreba po spremenljivi hitrosti, saj take črpalke večino časa delujejo z nižjo hitrostjo od nazivne.

Tabela 8: Tipi črpalk s procenti prodaje skupaj z VSD-jem (Falkner, 2008)

Tip črpalke	Prodanih z VSD (%)
Sesalna z ležaji	4
Sesalna sklopljena	5
Sesalna linijsko sklopljena	30
Večstopenjska vodna	8
Večstopenjska potopna	1

### 5.5.2 Krmilja za električne črpalke

Z dodanim elektronskim krmiljem se lahko pri črpalkah velikokrat pridobi več na izkoristku kot s samo konstrukcijo črpalke. Po študiji SAVE (Study, 2001) leta 2001 so možnosti prihranka porabe el. energije s kontrolo motorja 20 %, z boljšo konstrukcijo 10 %, boljšo izbiro črpalke 4 % in boljšim vzdrževanjem 3 %. Poleg tega krmilje omogoča snovalcem črpalk več različnih hitrosti, s katerimi so omejeni pri indukcijskih motorjih, in s tem različne pretoke ob enakih dimenzijah črpalke, hkrati pa poveča življenjsko dobo. Najbolj krmiljenje hitrosti pride do izraza pri črpalkah ESCCi, ki se uporabljajo v cirkulacijskih sistemih in večino časa delujejo pri manjših hitrostih. Zato tudi ni presenetljivo, da se jih proda skupaj s regulacijo hitrosti kar 30 %. V študiji je predvideno, da se pri rotacijskih črpalkah nasploh lahko prihrani med 30 in 50 % električne energije. Poleg privarčevane energije se zmanjša tudi obraba ležajev in tesnil. Dodati velja, da se tudi pri črpalkah opaža trend EC-motorjev, predvsem nekoliko manjših moči.

### 5.6 Pralni, pomivalni ter sušilni stroji

Pod to kategorijo spadajo tri študije. Študija o pralnih ter pomivalnih strojih za domačo rabo (Faber in drugi, 2007) je pod okriljem lota 14, medtem ko študija o sušilnih strojih za domačo rabo (Ecodesign of Laundry Dryers, 2009) spada pod lot 16. Obe sta končani in trenutno poteka definiranje ter regulacija zahtev. tretja (lot 24) obravnava vse naštete aparate, vendar za industrijsko uporabo in je še v teku, zato bomo aparate za industrijsko uporabo izpustili.

### 5.6.1 Trg pomivalnih, pralnih in sušilnih strojev za domačo uporabo

V tabeli 9 (številka so v tisočih) so prikazani proizvodnja, izvoz, uvoz ter dejanska uporaba pomivalnih, pralnih in sušilnih strojev za domačo uporabo na območju EU-27 leta 2008.

Tabela 9: Proizvodnja za leto 2008 (Prodcom, 2010)

Šifra Prodcom	Kategorije izdelkov	Enota	Proizvodnja EU-27	Uvoz	Izvoz	Poraba na območju EU
27511200	Gospodinjski pomivalni stroji	p/st	9.375	2.015	2.952	8.438
		EUR	2.179.388	302.054	465.996	2.223.583
27511300	Gospodinjski pralni in sušilni stroji	p/st	20.808	zaupno	zaupno	zaupno
		EUR	4.815.395	699.034	1.558.519	3.955.909
28942230	Pralni stroji za gospodinjstva in pralnice, kapacitete > 10 kg perila	p/st	37	19	44	13
		EUR	229.295	11.580	136.112	104.764
28942270	Sušilni stroji, kapacitete > 10 kg perila	p/st	29	zaupno	zaupno	zaupno
		EUR	154.923	30.590	128.563	56.950
28942300	Sušilne centrifuge za tekstilne izdelke	p/st	60	49	15	94
		EUR	31.818	2.435	3.268	30.985

Največja proizvajalca pomivalnih strojev sta Nemčija in Italija, sledi jima Poljska. Pri pralnih in sušilnih strojih je stanje nekoliko drugačno, in sicer se jih največ proizvede v Italiji, sledijo ji Španija, Velika Britanija ter Francija. Natančnejših podatkov zaradi zaupnosti ni mogoče predstaviti (glede na statistiko Prodcom je 40 % trga neznanega). Podatki za pralne in pralno-sušilne stroje za domačo uporabo kapacitete večje od 10 kg so še zaupnejši, in razen za Nemčijo in Španijo ni podatkov o državi izvora proizvodov. Za sušilne stroje pa je nemogoče reči o trgu kar koli, razen da je Nemčija največji proizvajalec obeh v tabeli predstavljenih proizvodnih skupin.

### **5.6.2 Krmilja za motorje v beli tehniki**

Običajen pomivalni stroj je opremljen z dvema električnima črpalkama. Ena je namenjena cirkulaciji vode, druga pa izsesavanju vode. Ker slednja obratuje zelo malo časa, se pri varčevanju z energijo študija osredotoča le na motor črpalke za cirkulacijo vode. Kot glavna opcija so izpostavljeni BLDC-motorji, kar privede do potrebe po krmilju za elektromotorje v pralne stroje. V času študije so imeli 5 % tržni delež. Ostale tehnologije, možne za uvedbo v pomivalnem stroju, ki bi lahko prinesle nov trg elektroniki, so predvsem možnost nadgradnje programske opreme pomivalnega stroja, povezljivost z internetnim omrežjem, zvočno upravljanje in tako dalje, kar pa je lahko del krmilja BLDC-motorja.

Podobno kot pri pomivalnih je tudi pri pralnih strojih trend uvedbe BLDC-motorjev ter ostalih zgoraj napisanih opcij v elektroniki. Pri veliki večini pralnih strojev je že vsaj delno vgrajena kontrolna logika, med katero sodijo senzor za količino perila, analogni senzor vode (5 % tržni delež) in temperaturni senzor.

Pri sušilnih strojih pa je običajno še vedno vgrajen enofazni indukcijski motor z delovnim kondenzatorjem. Razmišlja se o trifaznih motorjih s trajnostnim magnetom, ki bi bili krmiljeni preko frekvenčnega pretvornika, vendar je trenutno to z ekonomskega stališča vprašljivo. Kot možnosti so omenjeni še BLDC-motorji z direktnim pogonom na boben in brez njega. Z optimizacijo krmiljenja motorjev je mogoče doseči prilagodljivo pospeševanje, hitrost ter pozicijo bobna. Vsak sušilni stroj ima že omenjeni motor, ki vrti boben (ki pa ga ni potrebno ves čas vrteti), hkrati pa pogosto tudi vpahuje zrak. Zato se je priporočalo, da se uvede dva ločena motorja, tako da bi drugi, šibkejši, skrbel le za črpanje vode in zraka iz bobna, kar bi pomenilo manjšo porabo energije.

### **5.7 Ugotovitve študij in njihov vpliv na ATech**

Običajno se študije EuP le površinsko dotaknejo tematike krmilj za elektromotorje, zaradi tega lahko pričakujemo, da bodo tudi uredbe le v redkih primerih podajale natančne zahteve, ki jih bodo morala krmilja dosegati. V primerih, kjer je krmilje namenjeno predvsem regulaciji vrtljajev in s tem zmanjšanju porabe električne energije, je v študijah EuP kot običajna zahteva predvidena določena skupna



efektivnost elektromotorja s krmiljem. Takšne so predvsem študije o elektromotorjih, ventilatorjih in črpalkah. V študijah o gospodinjskih aparatih pa so največkrat podane učinkovitejše alternative zdajšnjim rešitvam. Seveda so vse tehnologije ovrednotene na več nivojih, od same cene izdelave do prednosti, ki jih ponujajo končnemu potrošniku.

Najbolj primerna za natančen prikaz konkretnih zahtev je uredba za elektromotorje, ker je že sprejeta. Uredba navaja obvezno uporabo pogona s spremenljivo hitrostjo po 1. januarju 2015 za motorje moči od 7,5 do 375 kW, ki ne bodo izpolnjevali stopnje učinkovitosti IE3. Vseeno pa bodo ti motorji morali dosegati učinkovitost IE2 (International Efficiency 2), kajti manj učinkovite se ne bo umaknilo iz prodaje. Od 1. januarja 2017 pa bo enako veljalo za vse motorje od 0,75 do 375 kW (Uredba komisije (ES) št. 640/2009, 2010).

V primeru ventilatorjev, kjer so regulacije za uredbo še v oblikovanju (na voljo je osnutek), je za ventilatorje, namenjene prodaji skupaj z regulacijo vrtljajev, v uporabi enačba (3) za izračun učinkovitosti, pomnožena s faktorjem za upoštevanje izkoristka samega krmilja.

$$\eta_e = (P_{u(s)} / P_{ed}) \cdot C_c \quad (3)$$

V enačbi (3)  $\eta_e$  predstavlja celoten izkoristek,  $P_{u(s)}$  je proizvod prostorninskega pretoka zraka in tlačne razlike med vhomom in izhodom v ventilator, izmerjen pri optimalnemu delovanju,  $P_{ed}$  je moč, izmerjena na vhodu v krmilje, in  $C_c$  je faktor nadomestila ob uporabi regulacije vrtljajev. Če se ventilator ne prodaja skupaj s krmiljem, se faktor  $C_c$  izloči iz enačbe,  $P_{ed}$  pa predstavlja moč na sponkah motorja. Podrobnejši izračuni in osnutki ostalih zahtev so opisani v osnutku uredbe (Proposal for a Regulation on fans, 2010).

Osnutki uredb za gospodinjske aparate so na voljo le za pralne in pomivalne stroje, v njih pa se posredno omenja krmilj za elektromotorje. Poudarki so predvsem na indeksih učinkovitosti, ki se uporabljajo za določanje učinkovitosti naprave. Poznamo jih pod EEI (Energy Efficiency Index) in temeljijo na porabi vode in električne energije celotnega aparata. Seveda je za čim nižjo porabo elektrine

energije aparata potreben varčen elektromotor, kar naredi krmilja pomembna tudi v tem segmentu, četudi ne bodo neposredno omenjena v uredbah direktiv.

ATech se zaradi izkušenj na področju krmiljenja elektromotorjev zaveda vpliva in priložnosti, ki jih lahko prinese direktiva EuP. Segmentov, kjer bodo v bodoče sprejete uredbe morebiti prinesle večje spremembe, je veliko, vendar so nekateri za ATech zanimivejši kot drugi. Pri tem igrajo vlogo tako dosedanje izkušnje in znanja, odnosi s kupci ter tržni potencial izdelka, ki ga je moč oceniti iz velikosti in zasičenosti trga, katere smo predstavili v tem diplomskem delu. V splošnem lahko rečemo, da se bo z uvedbo uredb pa tudi drugih vplivov na energetske trg poraba pametnih krmilj za elektromotorje povečala. V primeru samih regulacij vrtljajev pri elektromotorjih, ventilatorjih in črpalkah je jasna uporaba bolj ali manj sofisticiranih frekvenčnih pretvornikov, pri gospodinjskih aparatih pa je običajno potrebna večja stopnja prilagodljivosti izdelku (izbira različnih programov, regulacija pritoka in gretja vode, dodelan uporabniški vmesnik in tako dalje).

## 6 FREKVENČNI PRETVORNIK – INVERTIS

### 6.1 Izbira ciljnega segmenta

V povzetkih študij EuP smo predstavili velikost evropskega trga ter možnosti za izboljšanje krmilj elektromotorjev, uporabljenih v posameznih proizvodnih skupin. Ocenili smo, da je trg na področju krmiljena motorjev majhnih moči manj razvit, saj se na veliko področjih še vedno uporabljajo cenejše izvedbe motorjev z zelo nizkimi izkoristki. Vse več se sicer uporablja tudi novejše BLDC-elektromotorje, ki imajo zelo dober izkoristek tudi pri majhnih močeh, a so zaradi višje cene manj ugodni za cenovno občutljive segmente.

Na podlagi teh izsledkov smo se odločili za priredbo frekvenčnega pretvornika, ki ga je podjetje ATech že razvilo v svoje namene. Posebnost tega frekvenčnega pretvornika, ki ga bomo poimenovali Invertis, je njegov namen uporabe. Za razliko od običajnih frekvenčnih pretvornikov je prirejen za krmiljenje elektromotorjev manjših moči.

Ciljna aplikacija so predvsem ventilatorji, vendar ga lahko uporabimo tudi za krmilje črpalk, gospodinjskih aparatov in drugih naprav z elektromotorji manjših moči. Kot ciljne kupce smo ocenili predvsem proizvajalce ventilatorjev, ki v lastni proizvodnji ne izdelujejo elektronskih krmilj, in proizvajalce elektromotorjev. V tem sklopu smo tudi natančno pregledali ponudbo ventilatorjev manjših moči na trgu in opazili, da je število proizvajalcev takšnih ventilatorjev (še) zelo majhno.

Ker gre pri prodaji izdelkov, kot je frekvenčni pretvornik, predvsem za med organizacijsko trženje, torej brez distributerjev in trgovcev, je zelo pomemben pristop oziroma prvi vtis podjetja. Ob predpostavki, da so kupci takih izdelkov predvsem podjetja, ki proizvajajo bodisi le elektromotorje ali pa celotne ventilatorje (ali pa črpalke in ostale kuhinjske aparate), nimajo pa tehnologije za izdelavo krmilj, lahko sklepamo, da na njihovo odločitev pri nakupu krmilja vpliva predvsem prilagodljivost njihovim rešitvam. Za to pa je potrebno tesno sodelovanje in dobri odnosi, za zagotavljanje katerih moramo kupcu prisluhniti pri razvoju izdelka in dosledno nuditi tehnično pomoč.

## 6.2 Lastnosti Invertisa

Kot že omenjeno, lahko z Invertisom krmilimo elektromotorje manjših moči do okvirno 400 W. Njegova velika prednost je ta, da deluje praktično z vsemi razširjenimi tipi elektromotorjev, kot so:

- trifazni indukcijski,
- z zasenčenimi poli,
- enofazni indukcijski z delovnim kondenzatorjem in
- sinhronski s permanentnimi magneti.

Seveda je potrebno za vsak tip posebej prirediti programsko opremo mikrokontrolerja, na katerem je osnovan Invertis.

Samo elektronsko vezje takšnega frekvenčnega pretvornika je zelo majhno in zato enostavno za montažo. V primeru ventilatorjev, ki imajo elektromotor na svoji osi, to prinese dodatno prednost, saj ga lahko pritrdimo na samo gred ventilatorja. Nekateri ventilatorji z elektromotorjem na svoji gredi uporabljajo AC-motorje z zunanjim rotorjem, ki so veliko kompaktnjši kot običajno uporabljeni indukcijski in posebej prirejeni za pogon ventilatorjev. Ob uporabi Invertisa s takim elektromotorjem tako dobimo kompakten ventilator z regulacijo hitrosti, ki ga lahko vgradimo tudi v okolju, omejenem s prostorom.

Kot dodatna prednost Invertisa se lahko upošteva tudi dejansko manjše stroške izdelave samega elektromotorja v določenih primerih. To je pri elektromotorjih, ki imajo zaradi potrebe po različnih hitrostih več navitij, saj je v primeru uporabe frekvenčnega pretvornika dovolj le eno samo navitje, s tem pa je izdelava motorja tudi preprostejša.

Z Invertisom regulacijo hitrosti, ki je lahko odprto- ali zaprtozančna, krmilimo s pomočjo V/f ali "slip control" algoritma. Zaradi takšnega načina regulacije se nazivni izkoristek elektromotorja ohranja tudi pri hitrostih različnih od nominalne, kar nam, v kolikor motor ne deluje s polno hitrostjo, omogoča prihranke pri porabi električne energije. Dodatna prednost se pokaže ob uporabi trifaznega indukcijskega in sinhronskega motorja s permanentnimi magneti, saj je njihovo delovanje precej tišje ob uporabi frekvenčnega pretvornika. V primeru potrebe po višjih hitrostih od

nazivne je na voljo tudi dodatna možnost vgradnje tehnologije slabitve polja (field weakening), ki na izhodih Invertisa omogoča frekvenco, višjo od omrežne (50 Hz). Omeniti velja, da se pri temu postopku navor elektromotorja zmanjša, vendar ga običajno pri velikih hitrostih manj potrebujemo. Za ohranitev navora lahko sicer povečamo električni tok, a s tem se pojavijo težave pregrevanja.

Opcijsko je mogoče Invertisu vgraditi avtomatsko regulacijo ali kompenzacijo jalove energije. Kot vemo, elektromotorji predstavljajo induktivna bremena, za katera je značilno, da tok zaostaja za napetostjo. Zaradi tega elektromotor za svoje delovanje potrebuje tudi nekoristno jalovo moč, ki nam dodatno obremenjuje ostale elemente in linije, kar zahteva njihovo predimenzioniranje. Ravno teh problemov nas reši kompenzacija jalove energije, ki minimizira potrebe po jalovi moči z uporabo primerno dimenzioniranih kondenzatorjev. Poleg tega ima Invertis vgrajeno še tehnologijo mehkega zagona, katere namen je preprečevanje tokovnih sunkov ob zagonu elektromotorjev. Mehki zagon je obvezno uporabiti pri močnejših motorjih, saj lahko zaradi tokovnih sunkov, v kolikor ga ne uporabimo, pade omrežna napetost, kar lahko privede do poškodb ostalih bremen v omrežju.

Serijsko ima Invertis tudi več načinov preprečevanja napak, ki skrbijo za varno delovanje elektromotorja. Med njimi lahko omenimo:

- hitro strojno omejevanje toka,
- temperaturno, pod- in prenapetostno ter pretokovno zaščito in
- detekcijo blokirane rotorja.

Poleg teh serijsko implementiranih rešitev se lahko na podlagi zahtev kupcev Invertis opremi s potrebnimi sondami ali senzorji za zajemanje podatkov, na podlagi katerih krmilimo elektromotor. Kot primer lahko navedemo regulacijo na podlagi temperature, tlaka in vlažnosti zraka. Seveda je delovanje lahko tudi časovno vnaprej sprogramirano.

Za vse naštetе načine regulacije lahko parametre naknadno nastavljamo s pomočjo vgrajene serijske komunikacije, ki nam služi tudi za nadzor delovanja. Ravno zaradi možnosti serijske komunikacije lahko Invertis povežemo v mrežo, na primer s protokolom modbus-RTU, ki je najbolj razširjen med vsemi modbus različicami, in tako dostopamo do nastavitev Invertisa z oddaljenega kontrolnega mesta.

## 7 ZAKLJUČEK

Vsi se lahko strinjamo, da svetovne zaloge fosilnih goriv niso neomejene, trenutno pa so še vedno vir za večino proizvedene energije. Problematičen je predvsem transport, katerega si ne znamo predstavljati brez naftnih derivatov. Tudi pri sami proizvodnji električne energije igrajo fosilna goriva enega ključnih elementov, čeprav se stanje izboljšuje z vse več elektrarnami na obnovljive vire. Kljub vsemu pa v naslednjih nekaj letih ne moremo pričakovati, da bodo elektrarne na obnovljive vire rešile vse energetske probleme, kar nas pripelje do dejstva, da je ena izmed ključnih postavk pri rešitvi problematike energije zmanjšanje njene porabe.

K zmanjšanju porabe električne energije stremi tudi Evropska unija, ki je leta 2005 uvedla direktivo EuP o določanju zahtev za okoljsko primerno zasnovano izdelkov, ki rabijo energijo (Direktiva 2005/32/ES, 2005). To direktivo je kasneje, leta 2009, nadomestila direktiva ErP (Eenergy-related products) o vzpostavitvi okvira za določanje zahtev za okoljsko primerno zasnovano izdelkov (Direktiva 2009/125/ES, 2009). Največja sprememba, ki jo je prinesla nova direktiva, je ta, da zajema tudi izdelke, ki za svoje delovanje ne potrebujejo električne energije, vendar so vseeno povezani z njo. To so na primer okna in pipe. Na podlagi direktive EuP (in kasneje tudi ErP) se oblikujejo uredbe komisije, ki postavljajo minimalne zahteve za proizvode oziroma proizvajalce proizvodov, ki izdelujejo proizvode, zajete v direktivi EuP.

Eden največjih porabnikov električne energije so brez dvoma elektromotorji, katerim lahko ob kvalitetnejši izdelavi zmanjšamo porabo energije tudi z regulacijo hitrosti. Prav slednji način varčevanja energije je vsebina tega diplomskega dela. Natančnih zahtev za krmilja elektromotorjev v posameznih aplikacijah zaenkrat še ni, vendar se tega področja dotakne več študij EuP, ki za posamezne segmente izdelkov predstavijo in analizirajo tipe primernih regulacij.

Ob pomoči ugotovitev iz študij EuP ter drugih virov smo poizkušali predvideti prihajajoče trende na področju krmiljenja elektromotorjev. Seveda je mimo konkurence nemogoče, zato smo pregledali trenutno ponudbo in se na podlagi vseh ugotovitev odločili za izvedbo frekvenčnega pretvornika, namenjenega predvsem za regulacijo ventilatorjev manjših moči. Pomembno je omeniti tudi veliko

prilagodljivost razvitega frekvenčnega pretvornika, saj lahko z nekaj manjšimi spremembami deluje na več razširjenih vrstah elektromotorjev, s tem pa postane zanimiv za vrsto najrazličnejših proizvodov. Osnovan je na zelo zmogljivem, vendar cenovno ugodnem mikrokontrolerju, kar ga naredi primerne tudi za cenovno občutljive naprave. Za končnega uporabnika so prednosti takšnega frekvenčnega pretvornika predvsem kompaktna izvedba, nadzor delovanja, povezljivost v mrežo in navsezadnje seveda doseganje visokih izkoristkov ventilatorja ob vseh hitrostih delovanja. Kot glavnega konkurenta je potrebno omeniti BLDC-tehnologijo, ki postaja vse cenejša in dostopnejša in utegne pridobiti velik delež med elektromotorji, predvsem tistih z manjšo močjo.

Med ciljnim kupci takega pretvornika so predvsem podjetja, ki proizvajajo ventilatorje, vendar nimajo lastne rešitve za regulacijo njihove hitrosti. Poleg teh pa je tak proizvod potencialno zanimiv tudi za ostale proizvajalce električnih naprav, ki v svoje izdelke vgrajujejo elektromotorje. To so predvsem najrazličnejši gospodinjski aparati, kot so sesalci, nape, pomivalni ter pralni stroji in podobno.

## 8 LITERATURA

**Aníbal, T. de Almeida**, Fernando J. T. E. Ferreira, Fong J., Fonseca, P. (2008). EUP Lot 11 Motors. Pripravljalna študija. Coimbra: ISR-University of Coimbra. (Pridobljeno 20. 4. 2010 s svetovnega spleta: [http://www.ecomotors.org/files/Lot11\\_Motors\\_1-8\\_280408\\_final.pdf](http://www.ecomotors.org/files/Lot11_Motors_1-8_280408_final.pdf))

**ATech elektronika**. Pridobljeno 14. 8. 2010 s svetovnega spleta: <http://atech.si>

**ATech Motion predstavitev** (2005). Interno gradivo. Bač pri Materiji: ATech elektronika, d. o. o.

**Brushed DC electric motor**. Pridobljeno 16. 6. 2010 s svetovnega spleta: [http://en.wikipedia.org/wiki/Brushed\\_DC\\_Electric\\_Motor](http://en.wikipedia.org/wiki/Brushed_DC_Electric_Motor)

**Brushless DC electric motor**. Pridobljeno 19. 6. 2010 s svetovnega spleta: [http://en.wikipedia.org/wiki/Brushless\\_DC\\_electric\\_motor](http://en.wikipedia.org/wiki/Brushless_DC_electric_motor)

**Brushless DC Motors**. Pridobljeno 19. 6. 2010 s svetovnega spleta: [http://www.simulation-research.com/help/userguide/em\\_bldcm.html](http://www.simulation-research.com/help/userguide/em_bldcm.html)

**Commission regulation** (EU) No .../. Implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for fans driven by motors with an electric input power between 125 W and 500 kW. Predlog za uredbo komisije. Brussels, 2010. (Pridobljeno 6. 9. 2010 s svetovnega spleta: <http://efficient-products.defra.gov.uk/cms/assets/Uploads/DraftEuPFansCommissionRegulation260510.pdf>)

**Direktiva 2005/32/ES** Evropskega parlamenta in sveta. Uradni list Evropske unije, L 191, str. 29–58, 2005.

**Direktiva 2009/125/ES** Evropskega parlamenta in sveta. Uradni list Evropske unije, L 285, str. 10–35, 2009.

**Dostop do zakonodaje Evropske unije**. Pridobljeno 23. 4. 2010 s svetovnega spleta: <http://eur-lex.europa.eu/sl/index.htm>

**Ecodesign of Laundry Dryers** (2009). Pripravljalna študija. Neuilly-sur-Seine: Ecobilan, PricewaterhouseCoopers Advisory. (Pridobljeno 28. 4. 2010 s svetovnega spleta: [http://www.eceee.org/Eco\\_design/products/laundry\\_driers/FinalReport\\_Lot16\\_Laundry\\_driers](http://www.eceee.org/Eco_design/products/laundry_driers/FinalReport_Lot16_Laundry_driers))

**Faberi S., Presutto, M., Stamminger, R., Scialdoni ,R., Mebane, W., Esposito, R., Cutaia, L.**, (2008). LOT 13: Domestic Refrigerators & Freezers. Pripravljalna študija. Rome: Istituto di Studi per l'Integrazione dei Sistemi. (Pridobljeno 2. 5. 2010



s svetovnega spleta: [http://www.ecocold-domestic.org/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=26&Itemid=40](http://www.ecocold-domestic.org/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=26&Itemid=40)

**Faberi, S., Presutto, M., Stamminger, R., Scialdoni, R., Mebane, W., Esposito, R., Cutaia, L., Lombardi, F., (2007).** LOT 14: Domestic Washing Machines and Dishwashers. Pripravljalna študija. Rome: Istituto di Studi per l'Integrazione dei Sistemi. (Pridobljeno 3. 5. 2010 s svetovnega spleta: [http://www.ecowet-domestic.org/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=27&Itemid=40](http://www.ecowet-domestic.org/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=27&Itemid=40))

**Falkner, H. (2008).** Lot 11 Pumps: (in commercial buildings, drinking water pumping, food industry, agriculture). Pripravljalna študija. AEA Energy & Environment, Didcot. (Pridobljeno 2. 5. 2010 s svetovnega spleta: [http://www.ecomotors.org/files/Lot11\\_pumps\\_1-8\\_%20issue6\\_110408\\_%20final.pdf](http://www.ecomotors.org/files/Lot11_pumps_1-8_%20issue6_110408_%20final.pdf))

**Global warming.** Pridobljeno 13. 8. 2010 s svetovnega spleta: [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_warming](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming)

**How Are Squirrel Cage Induction Motors Constructed?** Pridobljeno 16. 6. 2010 s svetovnega spleta: <http://www.brighthub.com/engineering/electrical/articles/43723.aspx>

**Kyoto Protocol.** Pridobljeno 13. 8. 2010 s svetovnega spleta: [http://en.wikipedia.org/wiki/Kyoto\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protocol)

**Monier, V., Mudgal, S., Iyama, S., Tinetti, B. (2007).** Lot 12 Commercial refrigerators and freezers. Pripravljalna študija. Paris: Bio Intelligence Service S.A.S. (Pridobljeno 2. 5. 2010 s svetovnega spleta: [http://www.ecofreezercom.org/docs/BIO\\_EuP\\_Lot\\_12\\_Final\\_Report.pdf](http://www.ecofreezercom.org/docs/BIO_EuP_Lot_12_Final_Report.pdf))

**Moto modul.** Pridobljeno 15. 8. 2010 s svetovnega spleta: [http://rts.uni-mb.si/misc/materiali/mikrorac/moto\\_modul.pdf](http://rts.uni-mb.si/misc/materiali/mikrorac/moto_modul.pdf)

**Motor Control .** Pridobljeno 17. 8. 2010 s svetovnega spleta: [http://www.nxp.com/documents/application\\_note/APPCHP3.pdf](http://www.nxp.com/documents/application_note/APPCHP3.pdf)

**Motorji.** Pridobljeno 16. 6. 2010 s svetovnega spleta: <http://www.ro.feri.uni-mb.si/predmeti/servosi/gradivo/motorji.pdf>

**Prodcom – (NACE Rev. 2).** Pridobljeno 27. 4. 2010 s svetovnega spleta: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/prodcom/data/tables\\_excel](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/prodcom/data/tables_excel)

**Prodcom – statistics by product.** Database. Pridobljeno 11. 11. 2010 s svetovnega spleta: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/prodcom/data/database>

**Products covered** and their status in the EuP process. Pridobljeno 20. 6. 2010 s svetovnega spleta: [http://www.eceee.org/Eco\\_design/products](http://www.eceee.org/Eco_design/products)

**Radgen, P., Oberschmidt, J.** (2008). EuP Lot 11: Fans for ventilation in non residential buildings. Pripravljala študija. Karlsruhe Fraunhofer Institute Systems and Innovation Research. (Pridobljeno 23. 6. 2010 s svetovnega spleta: [http://www.ecomotors.org/files/Lot11\\_Fans\\_FinalReport.pdf](http://www.ecomotors.org/files/Lot11_Fans_FinalReport.pdf))

**Study** on improving the energy efficiency of the pumps (2001). Študija. ETSU, AEA Technology PLC. (Pridobljeno 11. 11. 2010 s svetovnega spleta: [http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge/pdf/SAVE\\_PUMPS\\_Final\\_Report\\_June\\_2003.pdf](http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge/pdf/SAVE_PUMPS_Final_Report_June_2003.pdf))

**Study on residential ventilation.** (2008). Pripravljala študija. Paris: Armines. (Pridobljeno 9. 5. 2010 s svetovnega spleta: [http://www.eceee.org/Eco\\_design/products/airco\\_ventilation/FinalReport\\_Ventilation](http://www.eceee.org/Eco_design/products/airco_ventilation/FinalReport_Ventilation))

**Uredba komisije (ES) št. 640/2009.** Uradni list Evropske unije, L 191, str. 26–34, 2009.

**Uredba komisije (ES) št. 656/2007.** Uradni list Evropske unije, L 155, str. 3–6, 2007.

**What is CE Marking (CE Mark)?** Pridobljeno 1. 6. 2010 s svetovnega spleta: <http://www.ce-marking.org/what-is-ce-marking.html>