

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Xxxx Xxxx
xxxxxxxx

Zagreb, 2008.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:
Doc. dr. sc. XXXXX XXXXXX

Student:
XXXXX XXXXX
XXXXXXXXXX

Zagreb, 2008.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne radove
Studij strojarstva
Smjer računalno inženjerstvo



Zagreb, 04.03.2008.

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI RAD

Student: **Josip KELAVA**

Mat. br.:0035152503

Naslov: **MODELIRANJE PRETVARAČA ELEKTRIČNIH VELIČINA
TRAČNIČKIH VOZILA KORIŠTENJEM SysML JEZIKA**

Opis zadatka:

„Systems Modeling Language“ (OMG SysML™) je grafički jezik općenite namjene čija je svrha modeliranje informacija proizašlih tijekom analiziranja kompleksnih tehničkih sustava. SysML jezik pruža mogućnost modeliranja zahtjeva, ponašanja, strukture i parametara kompleksnih tehničkih sustava, te se može integrirati s drugim inženjerskim modelima. Korištenjem značajki SysML jezika potrebno je kreirati informacijski model pretvarača električnih veličina tračničkih vozila u svrhu strukturiranog zapisivanja informacija potrebnih za planiranje i uvođenje podrške modularnom konstruiranju pretvarača.

U radu je potrebno:

- proučiti i prikazati osnovne značajke SysML jezika za informacijsko modeliranje tehničkih sustava
- napraviti analizu pretvarača električnih veličina tračničkih vozila s posebnim osvrtom na zahtjeve koje pretvarač mora ispuniti, funkcijske značajke te glavna rješenja tehničkih podsustava
- rezultate analize pretvarača zapisati korištenjem odgovarajućih elementa SysML jezika

Zadatak zadan:

04. ožujak 2008.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Mario Štorga

Referada za diplomске i završne ispite

Rok predaje rada:

06. ožujak 2008.

Voditelj studija ili smjera

Prof. dr. sc. Bojan Jerbić

Obrazac DS - 3/PDS -3

Izjavljujem da sam ovaj rad radio samostalno, služeći se znanjem stečenim tokom studija i koristeći se navedenom literaturom.

Ovom prilikom bih se želio zahvaliti:

[illegible]

Sažetak

Ovim radom je prikazana primjena SysML jezika prilikom modeliranja pretvarača električnih veličina tračničkih vozila. U prvome dijelu rada je ukratko opisan jezik.

U drugome i trećem dijelu rada je izvršena analiza pretvarača električnih veličina tračničkih vozila, gdje je dan poseban osvrt na zahtjeve koje pretvarač mora ispuniti, na njegove funkcijske značajke te na glavna rješenja tehničkih podsustava.

U završnom dijelu rada su prikazani rezultati analize pomoću SysML jezika, korištenjem odgovarajućih dijagrama.

SADRŽAJ

1. Uvod	6
2. SysML – System Modelling Language	7
2.1 Osnovni principi kreiranja SysML jezika	7
2.2 SysML dijagrami	8
2.2.1 Strukturni dijagrami	9
2.2.2 Dijagrami ponašanja	12
2.2.3 Dijagram zahtjeva	14
3. Zahtjevi naručitelja vezani uz pretvarač električnih veličina tračničkih vozila	19
3.1 Funkcije pretvarača	20
3.2 Utjecaj okoline	20
3.3 Životni vijek i servisiranje	20
3.4 Ciljani troškovi	21
3.5 Transport pretvarača	21
3.6 Pakiranje pretvarača	22
3.7 Veličina i težina	22
3.8 Izgled, pojava i završna obrada	22
3.9 Materijali za izradu	22
3.10 Standardi	22
3.11 Ergonomija	22
3.12 Kvaliteta i pouzdanost	23
3.13 Skladištenje i spremanje	23
3.14 Ispitivanje	23
3.15 Sigurnost	23
3.16 Ugradnja	24
3.17 Ponovno korištenje, recikliranje, odlaganje	24
3.18 Zakonska i ugovorna regulativa	24
3.19 Izvori buke na pretvaračima i načela utvrđivanja razine buke	25
3.20 Izvori vibracija na pretvaračima i načela utvrđivanja razine vibracija	26
3.21 Izolacijski razmaci u pretvaračima i zaštita od dodira	26
3.22 Elektromagnetska kompatibilnost u pretvaračima	27
3.23 Čistoća zraka u pretvaraču	27
3.24 Zaštita od vanjskih utjecaja	28
3.25 Odvod kondenzata iz pretvarača	28
4. Funkcijska dekompozicija pretvarača i izbor tehničkih rješenja	30
4.1 Funkcijska dekompozicija tramvajskog pretvarača	30
5. Informacijsko modeliranje pretvarača korištenjem SysML jezika	38
5.1 Računalni alat (softver)	38
5.2 Dijagrami zahtjeva	39
5.2.1 Zahtjevi proizvodnje	42
5.2.2 Zahtjevi ergonomije	47
5.2.3 Zahtjevi skladištenja i transporta	49
5.2.4 Zahtjevi sigurnosti	52
5.2.5 Zahtjevi okoliša	56
5.2.6 Zahtjevi funkcionalnosti	59
5.3 Dijagrami strukture	64
5.3.1 Funkcije pretvarača	64
5.3.2 Komponente pretvarača	67
5.3.3 Realizacija funkcija u komponentama	70
5.4 Dijagrami ponašanja	72

5.5	Parametarski dijagrami.....	73
6.	Zaključak	74
7.	Literatura	75

Popis slika

<i>Slika 1: Odnos SysML-a i UML-a</i>	7
<i>Slika 2: Taksonomija SysML-a</i>	9
<i>Slika 3: Primjer „pogleda“</i>	10
<i>Slika 4: Razlika između dijagrama definicije bloka i unutrašnjeg blok dijagrama</i>	10
<i>Slika 5: Standardni ulaz</i>	11
<i>Slika 6: Ulaz toka</i>	11
<i>Slika 7: Dijagram aktivnosti bez „plivaćih staza“</i>	12
<i>Slika 8: Dijagram aktivnosti sa „plivačkim stazama“</i>	13
<i>Slika 9: Primjer dijagrama sekvenci</i>	13
<i>Slika 10: Primjer dijagrama stanja</i>	14
<i>Slika 11: Primjer dijagrama korištenja</i>	15
<i>Slika 12: Alokacije u dijagramu aktivnosti</i>	15
<i>Slika 13: Alokacije pomoću tablice</i>	16
<i>Slika 14: Alokacije pomoću matrice</i>	16
<i>Slika 15: Primjer dijagrama zahtjeva</i>	17
<i>Slika 16: Primjer tablice zahtjeva</i>	17
<i>Slika 17: Primjer strukture stabla</i>	18
<i>Slika 18: Funkcijska struktura tramvajskog pretvarača</i>	32
<i>Slika 19: Parcijalni podsustav PS1</i>	33
<i>Slika 20: Parcijalni podsustav PS21</i>	33
<i>Slika 21: Parcijalni podsustav PS2</i>	33
<i>Slika 22: Parcijalni podsustav PS22</i>	34
<i>Slika 23: Parcijalni podsustav PS3</i>	34
<i>Slika 24: Parcijalni podsustav PS4</i>	35
<i>Slika 25: Parcijalni podsustav PS23</i>	35
<i>Slika 26: Parcijalni podsustav PS5</i>	36
<i>Slika 27: Parcijalni podsustav PS6</i>	37
<i>Slika 28: Topcased okruženje</i>	39
<i>Slika 29: Veze između zahtjeva</i>	40
<i>Slika 30: Lista zahtjeva definirana u SysML-u</i>	41
<i>Slika 31: Dijagram zahtjeva - cijena pretvarača</i>	42
<i>Slika 32: Dijagram zahtjeva - materijali koji se koriste za izradu pretvarača</i>	43
<i>Slika 33: Dijagram zahtjeva - životni vijek i servisiranje</i>	44
<i>Slika 34: Dijagram zahtjeva - masa pretvarača</i>	45
<i>Slika 35: Dijagram zahtjeva - dimenzije pretvarača</i>	46
<i>Slika 36: Dijagram zahtjeva – ergonomija</i>	47
<i>Slika 37: Dijagram zahtjeva – buka unutar pretvarača</i>	48
<i>Slika 38: Dijagram zahtjeva - način pakiranja</i>	49
<i>Slika 39: Dijagram zahtjeva - načini skladištenja</i>	50
<i>Slika 40: Dijagram zahtjeva – transport</i>	51
<i>Slika 41: Dijagram zahtjeva – sigurnost</i>	52
<i>Slika 42: Dijagram zahtjeva – standardi</i>	53
<i>Slika 43: Dijagram zahtjeva - ispitivanje pretvarača</i>	54
<i>Slika 44: Dijagram zahtjeva - način rukovanja</i>	55
<i>Slika 45: Dijagram zahtjeva - utjecaj okoline</i>	56
<i>Slika 46: Dijagram zahtjeva - vanjski utjecaji</i>	57
<i>Slika 47: Dijagram zahtjeva - čistoća zraka</i>	58
<i>Slika 48: Dijagram zahtjeva - funkcija pretvarača</i>	59

<i>Slika 49: Dijagram zahtjeva – vibracije</i>	<i>60</i>
<i>Slika 50: Dijagram zahtjeva - elektromagnetska kompatibilnost</i>	<i>61</i>
<i>Slika 51: Dijagram zahtjeva - odvoz kondenzata</i>	<i>62</i>
<i>Slika 52: Dijagram zahtjeva – izolacija</i>	<i>63</i>
<i>Slika 53: Dijagram strukture - funkcije pretvarača</i>	<i>65</i>
<i>Slika 54: Dijagram strukture – hijerarhija funkcija tramvajskog pretvarača</i>	<i>66</i>
<i>Slika 55: Dijagram strukture - dijelovi pretvarača</i>	<i>68</i>
<i>Slika 56: Realizacija funkcija</i>	<i>71</i>
<i>Slika 57: Dijagram aktivnosti - podsustav PS21</i>	<i>72</i>
<i>Slika 58: Primjer parametarskog dijagrama - brtva usisnog poklopca</i>	<i>73</i>

Popis tablica

<i>Tablica 1: Usporedba dijagrama sadržanih u SysML-u i UML-u</i>	<i>8</i>
---	----------

1. Uvod

Cilj ovoga rada je prikazati modeliranje realnog proizvoda – u ovome slučaju pretvarača električnih veličina tračničkih vozila – korištenjem SysML jezika.

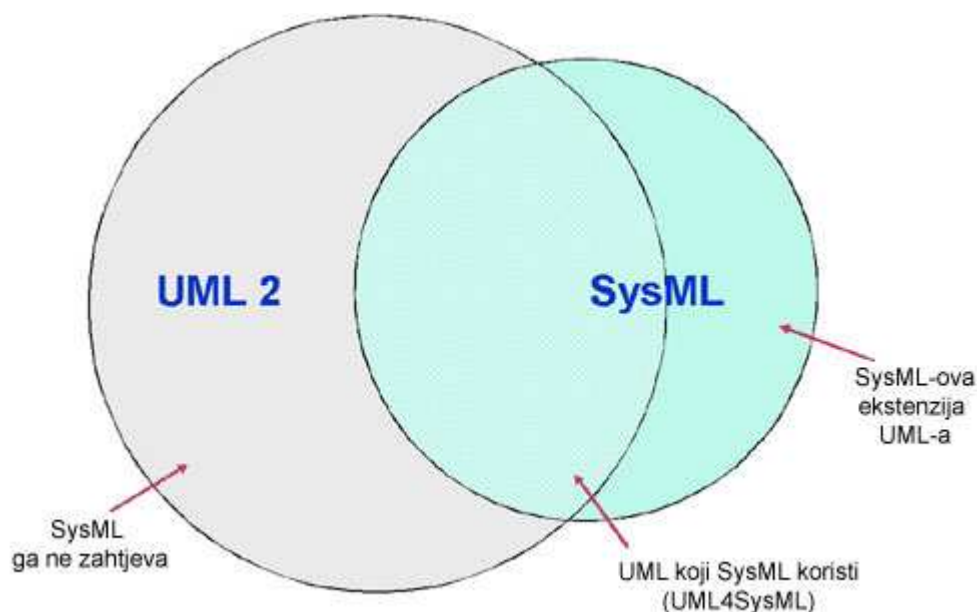
U radu je najprije ukratko opisan SysML jezik za informacijsko modeliranje, te je dan prikaz dijagrama koji su se koristili za modeliranje pretvarača električnih veličina. Nakon SysML jezika slijedi analiza zahtjeva naručitelja vezanih uz pretvarač, te je prikazana funkcijska dekompozicija pretvarača kao i tehničkih podsustava koji realiziraju pojedine funkcije.

U konačnici, na temelju zahtjeva naručitelja te funkcijske dekompozicije kreirani su SysML dijagrami kojima su formalno zapisani rezultati analize pretvarača.

2. SysML – System Modelling Language

SysML - „Systems Modeling Language“ (OMG SysML™), je grafički jezik općenite namjene kojim se koristi za modeliranje informacija pri analiziranju, kreiranju i verificiranju kompleksnih tehničkih sustava, bez obzira radi li se o proizvodima, znanju, organizacijskoj strukturi ili procesima. [1] Ovaj jezik omogućuje grafički prikaz elementa za modeliranje zahtjeva, ponašanja, strukture i parametara kompleksnih sustava, te je predviđen za integraciju sa drugim inženjerskim informacijskim modelima.

SysML je djelomično podskup UML 2.0 jezika koji je priznati standard za objektno-orijentirane analize, a djelomično je proširen dodatnim elementima. Odnos između SysML i UML jezika je prikazan na slici 1. [2]



Slika 1: Odnos SysML-a i UML-a

2.1 Osnovni principi kreiranja SysML jezika

Osnovni principi koji su rezultirali kreiranjem SysML jezika jesu:

- namijenjen je proširenju UML standardnog jezika zahtjevima proizašlim iz inženjerstva sustava,
- ponovno korištenje elementa UML-a – promjena i proširenje standardnog UML-a dolazi u obzir samo ukoliko je nužno potrebno izvršiti modifikaciju, a i tada se to čini na takav način da se teži minimiziranju promjene osnovnog jezika,
- dijeljenje – element SysML jezika je potrebno podijeliti u osnovne grupe kako bi se olakšalo modeliranje međuovisnosti među njima,
- slojevitost – SysML dijagrami su specificirani kao dopunske razine osnovnog UML metamodela,
- interoperabilnost – potrebno je omogućiti razmjenu podataka među različitim inženjerskim alatima.

2.2 SysML dijagrami

Osnovni gradivni elementi jezika su različiti dijagrami kojima se korisniku omogućava modeliranje različitih aspekata tehničkih sustava. U osnovi, dijagrame koji čine SysML možemo podijeliti u tri osnovne grupe, od kojih svaka može imati nekoliko podgrupa. Tri osnovne vrste SysML dijagrama su:

- dijagram strukture (*structure diagram*)
- dijagram ponašanja (*behavior diagram*)
- dijagram zahtjeva (*requirement diagram*)

Dijagrami strukture i ponašanja ostali se nepromijenjeni u odnosu na dijagrame u UML-a 2.0, dok je dijagram zahtjeva potpuna novina u odnosu na UML 2.0.

Dijagram strukture sadrži:

- dijagram definicije bloka (*block definition diagram*),
- unutarnji blok dijagram (*internal block diagram*),
- dijagram paketa (*package diagram*)
- dijagram parametara (*parametric diagram*).

Dijagram definicije bloka te unutarnji blok dijagram su promijenjeni u odnosu na UML 2.0, dok je dijagram paketa ostao nemodificiran. Također je potrebno spomenuti da unutarnji blok dijagram ima svoju podvrstu – dijagram parametara.

Dijagram ponašanja sadrži:

- dijagram aktivnosti (*activity diagram*),
- dijagram sekvenci (*sequence diagram*),
- dijagram stanja (*state machine diagram*),
- dijagrame korištenja (*use case diagram*).

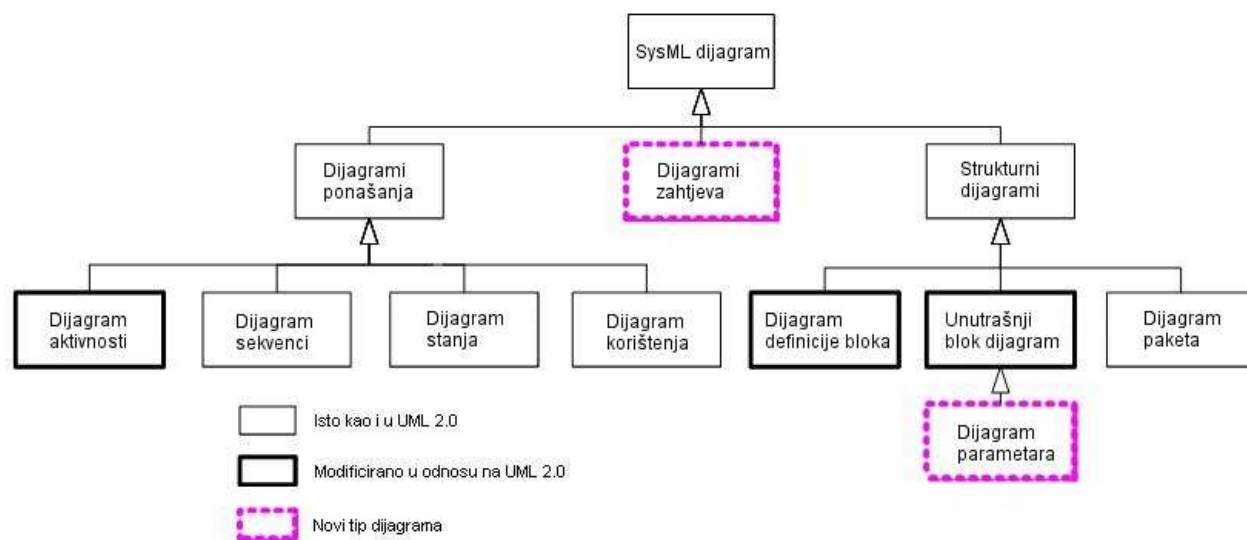
Dijagram aktivnosti je promijenjen u odnosu na UML 2.0, dok su ostali dijagrami ostali nepromijenjeni. Usporedba između dijagrama sadržanih u SysML-a i UML-a prikazana je u tablici 1.

Tablica 1: Usporedba dijagrama sadržanih u SysML-u i UML-u

SysML	UML
dijagram aktivnosti	dijagram aktivnosti
dijagram definicije bloka	dijagram klasa
unutrašnji blok dijagram	dijagram kompozitne strukture
dijagram paketa	dijagram paketa
dijagram parametara	-
dijagram zahtjeva	-
dijagram sekvenci	dijagram sekvenci
dijagram stanja	dijagram stanja
dijagram korištenja	dijagram korištenja

Masno otisnuti podaci u tablici predstavljaju promijenjene dijagrame u odnosu na SysML, dok podaci koji su otisnuti ukošeno predstavljaju potpuno nove dijagrame

Taksonomija dijagrama SysML jezika prikazana je na slici 2. [1] Pojedini dijagrami opisani su u tekstu koji slijedi.



Slika 2: Taksonomija SysML-a

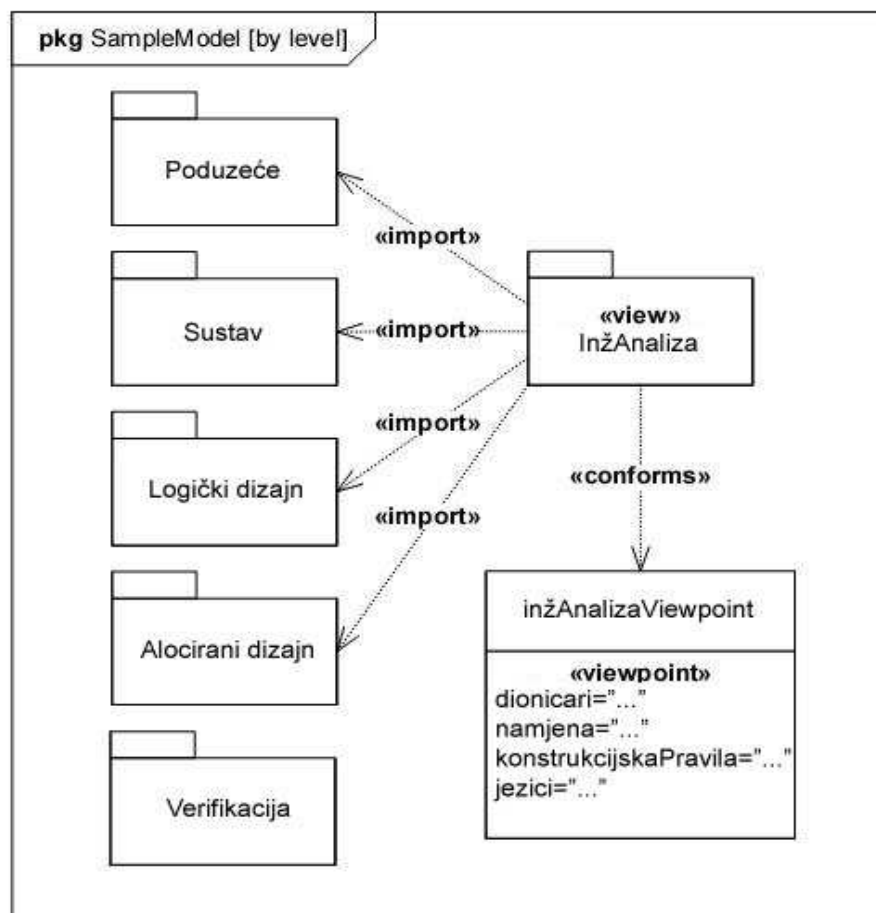
2.2.1 Strukturni dijagrami

Strukturni dijagrami namijenjeni su modeliranju strukturalni aspekata kompleksnih tehničkih sustava te sadrže dijagram definicije bloka, unutarnji blok dijagram, dijagram paketa te dijagram parametara. U daljnjem tekstu će ukratko biti opisan svaki od tih tipova dijagrama.

Dijagram paketa služi organizaciji sadržaja informacijskog modela. [3] Organizacija sadržaja izvodi se dijeljenjem elemenata modela u manje pakete, te definiranjem relacija između paketa i/ili elemenata unutar paketa. Paket definira skup elementa koje je moguće združiti po određenom kriteriju te ih imenovati zajedničkim nazivom. Elementima iz jednog paketa je moguće pristupiti i iz drugog paketa. Paketi se također mogu naznačiti i u drugim dijagramima, kao što je dijagram definicije bloka, dijagram zahtjeva ili dijagram ponašanja. Elementi modeli mogu biti organizirani u pakete na nekoliko načina:

- hijerarhijom sustava
- temeljem područja kojeg obuhvaćaju
- korištenjem specifičnih pogleda u svrhu organizacije modela – primjer „pogleda“ je prikazan na slici 3.

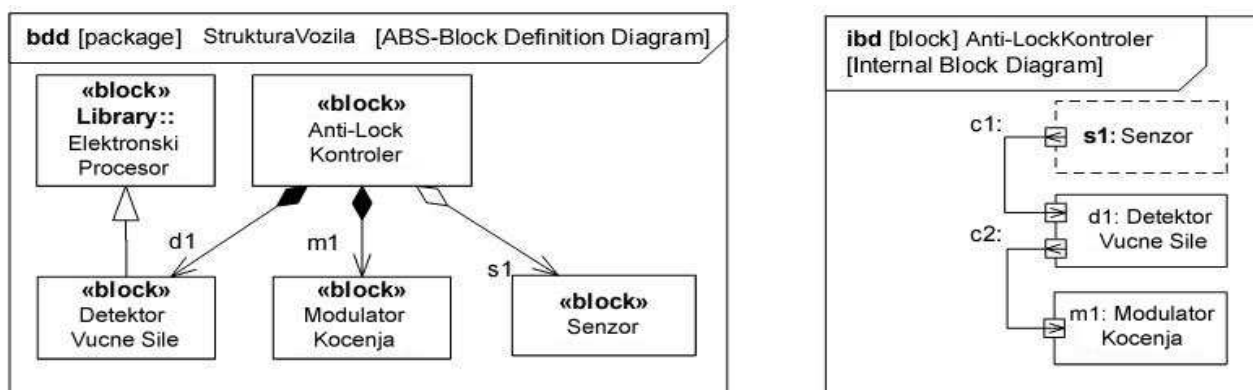
Osnovni strukturni element UML jezika je blok. Svaki blok predstavlja skup značajki kojima se opisuje sustav ili neki pojedini element sustava. Značajke mogu uključivati i strukturalne značajke kao i značajke ponašanja, npr. svojstva i operacije, a koje predstavljaju stanje sustava te ponašanje koje se može očekivati od njega. Blokove je moguće koristiti kroz sve faze analize i sinteze sustava, te se mogu primijeniti na različite vrste sustava. Modeliranje dijagramom bloka uključuje modeliranje logičke ili fizičke dekompozicije sustava, specifikaciju softvera, hardvera ili pak ljudske elemente. Pojedini blokovi unutar ovih sustava mogu biti u različitim interakcijama, kao što su softverske operacije, prijelazi stanja, tokovi ulaza i izlaza itd.



Slika 3: Primjer „pogleda“

Dijagram definicije bloka definira značajke bloka te relacije između blokova kao što su asocijacije, generalizacije te relacije ovisnosti. [1] Preciznije rečeno, on definira blok u smislu njegovih svojstava i operacija te odnosa prema drugim blokovima, kao npr. hijerarhiju sustava.

Unutrašnji blok dijagram pak definira unutarnju strukturu bloka na način da definira svojstva bloka te veze između svojstava, tj. pruža kontekst u kojem se blok koristi. [1] Svojstva bloka mogu uključivati vrijednosti, strukturne odnose te reference na druge blokove. Razlika između dijagrama definicije bloka i unutrašnjeg blok dijagrama je prikazana na slici 4.



Slika 4: Razlika između dijagrama definicije bloka i unutrašnjeg blok dijagrama

Već je rečeno kako je svojstvo strukturalna značajka bloka. Svojstva možemo podijeliti na tri osnovne vrste:

- strukturalno svojstvo bloka,
- svojstvo reference,
- svojstvo vrijednosti.

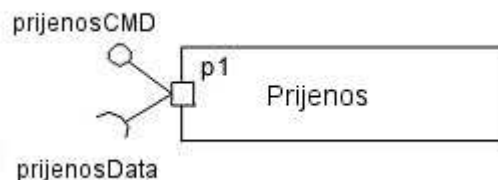
Strukturalno svojstvo bloka nam govori o upotrebi bloka u kontekstu složenog bloka, dok nam svojstvo reference govori o bloku koji se nalazi izvan složene strukture, npr. govori nam o vezi između dva bloka koji nisu strukturalno povezani. Svojstvo vrijednosti nam govori o vrijednostima koje neko svojstvo može poprimiti, npr. maksimalni tlak u gumi automobila. Osim što je moguće točno definirati vrijednost, moguće je i definirati raspon u kojem se taj vrijednost može kretati.

Sučelja (*ports*) su neizostavan dio definicije blokova (blokovi posjeduju svoja sučelja), jer oni modeliraju interakciju između bloka i njegove okoline, te na taj način integriraju ponašanje sa strukturom. Glavni razlog definiranja sučelja na elementima sustava je kreiranje ponovo iskoristivih modularnih blokova. sučelja možemo podijeliti na dva tipa:

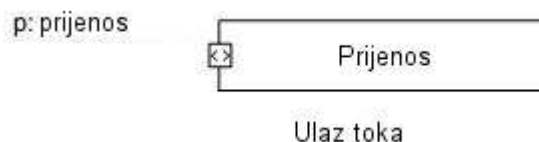
- standardna sučelja
- sučelja toka

Razlika između ova dva tipa sučelja je u slijedećem: standardna sučelja definiraju skup traženih ili zahtijevanih operacija i signala, dok sučelja toka definiraju ulazne i izlazne podatke koji se mogu kretati između bloka i njegove okoline. Standardna sučelja su nepromijenjena u odnosu na UML 2.0 te zapravo samo predstavljaju drugo ime za UML 2.0 sučelja. Definirani su istom meta-klasom, te koriste istu notaciju. Sa druge strane, sučelja toka proširuju UML 2.0 ulaze, te su namijenjena za asinkroni ili sinkroni tip interakcije između blokova.

Primjer standardnog ulaza je prikazan na slici 5., dok je primjer ulaza toka prikazan na slici 6.



Slika 5: Standardni ulaz



Slika 6: Ulaz toka

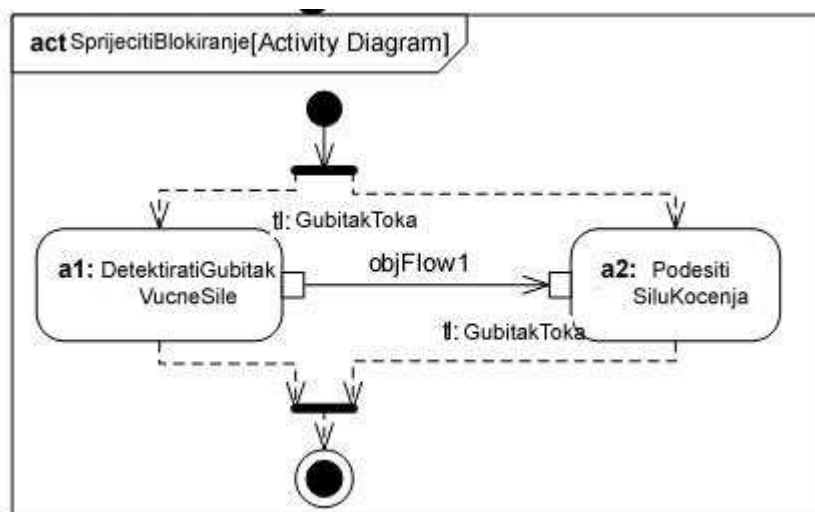
Blokovi ograničenja (*constraint blocks*) predstavljaju mehanizam za integriranje različitih modela analiza sa ostalim SysML modelima. [1] Oni se koriste kako bi definirali skup ograničenja koja pak ograničavaju fizička svojstva sustava (npr. izrazi kao što su $F = m \times a$). Blokovi ograničenja se također mogu koristiti kako bi se lakše identificiralo kritične parametre te njihov odnos sa drugim parametrima sustava, koji se na taj način mogu pratiti kroz cijeli životni ciklus sustava.

Parametarski dijagrami sadrže blokove ograničenja koji vežu parametre ograničenja sa specifičnim svojstvom bloka čime se daje vrijednost pojedinom parametru. Ono što je bitno spomenuti kod parametarskih dijagrama je vrijeme – naime, ono može biti modelirano kao svojstvo o kojem druga svojstva mogu ovisiti. Vremenska referenca može biti definirana lokalnim ili globalnim satom koji stvara kontinuirane ili diskretne vrijednosti svojstva vremena. Druge vrijednosti vremena mogu biti izvedene iz ovog sata tako da uvodimo vremenske zastoje i/ili različita zaobilaženja u vrijednost (iznos) vremena. SysML pruža mogućnost imenovanja te identifikacije blokova ograničenja, no ne specificira način na koji se blokovi ograničenja mogu interpretirati, što znači da interpretacija bloka ograničenja mora biti zadana (npr. matematička relacija između vrijednosti parametara). Izraz se mora pouzdati na druge matematičke opisne jezike kako bi bio u stanju "shvatiti" detaljnu specifikaciju matematičke ili logičke relacije, te kako bi postojala mogućnost računanja vrijednosti tih relacija.

2.2.2 Dijagrami ponašanja

Dijagrame ponašanja namijenjeni su modeliranju ponašajnih aspekata kompleksnih tehničkih sustava te sadrže dijagrame aktivnosti, dijagrame sekvenci, dijagrame stanja te dijagrame korištenja. U daljnjem tekstu će ukratko biti opisan svaki od tih tipova dijagrama.

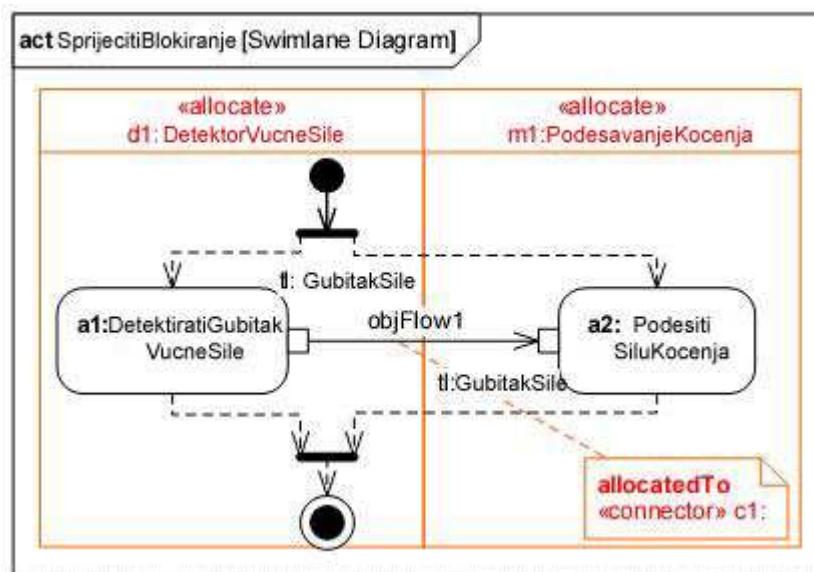
Dijagram aktivnosti nam pružaju informacije o aktivnostima koje se odvijaju u nekom procesu te specificira ulaze, izlaze, sekvence te različite uvjete koje je potrebno ispuniti kako bi bilo moguće koordinirati različitim aktivnostima. [1] Primjer dijagrama aktivnosti je prikazan na slici 7.



Slika 7: Dijagram aktivnosti bez „plivaćih staza“

U dijagramima aktivnosti moguće je kreirati tzv. „plivačke staze“, pomoću kojih aktivnosti raspoređuju među objektima koji ih izvode. Primjer dijagrama aktivnosti sa plivaćim stazama je prikazan na slici 8.

Dijagrami sekvenci se koriste kako bi opisala interakcija između različitih elemenata procesa, tj. opisuje tok informacija između učesnika i sustava (blokova) ili između pojedinih dijelova unutar sustava. Ovim se dijagramom modelira izmjena podataka između elementa u interakciji pri čemu je vrijeme predstavljeno na vertikalnoj osi.



Slika 8: Dijagram aktivnosti sa „plivačkim stazama“

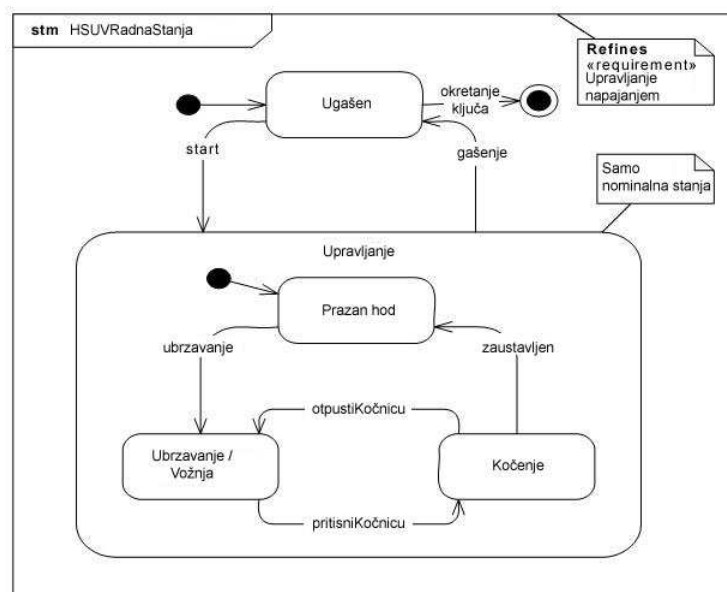
Primjer dijagrama sekvenci je prikazan na slici 9.



Slika 9: Primjer dijagrama sekvenci

Dijagrami stanja se koriste kako bi modelirao životni ciklus jednoga bloka. Ovaj dijagram definira skup elementa koji se mogu koristiti za modeliranje diskretnog ponašanja elementa sustava kroz promjene stanja. Ponašanje se u dijagramima stanja predstavlja kao "povijest" stanja objekta u smislu njegovih tranzicija i stanja. Aktivnosti koje bivaju pobuđene tokom tranzicije, prilikom ulaska ili izlaska u neko stanje se specificiraju zajedno sa pripadajućim događajem u životnom ciklusu. S druge strane, aktivnosti koje bivaju pobuđene dok je blok u određenom stanju se specificiraju kao aktivnosti koje je potrebno izvršiti te one mogu biti kontinuirane ili diskretne. Ukoliko se radi o složenom stanju, aktivnosti mogu biti ugniježdene jedna unutar druge. Tijekom prijelaza iz jednog u drugo stanje moguća je i komunikacija sa drugim blokovima izmjenom poruka.

Primjer dijagrama stanja prikazan je na slici 10.



Slika 10: Primjer dijagrama stanja

Dijagrami korištenja opisuju scenarij korištenje kompleksnog sustava od strane s određenim ciljem. Taj cilj se realizira od strane subjekta (sustava) koji pruža određen skup usluga korisnicima. Ovaj dijagram se može promatrati kao sredstvo koje pruža mogućnost opisivanja osnovnih funkcionalnosti koje je moguće postići kroz interakciju između sustava i korisnika.

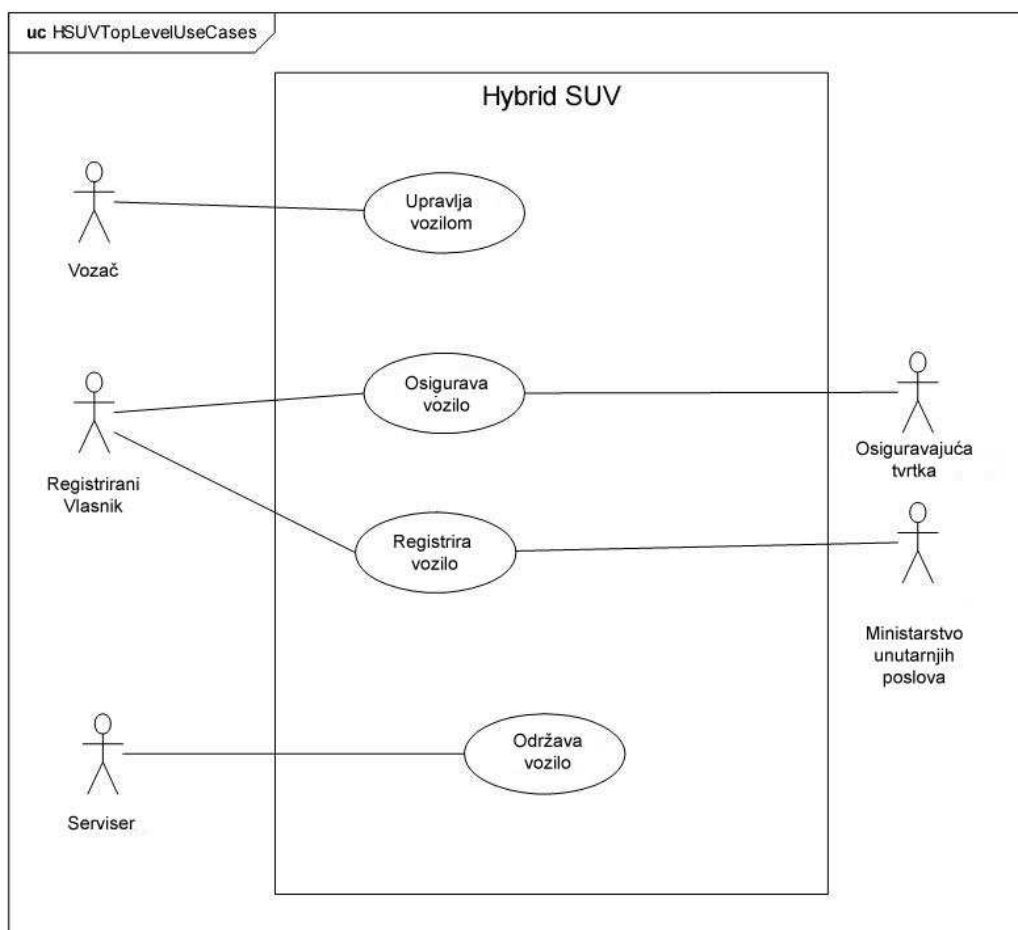
Relacije koje se koriste u dijagramima korištenja su "komunicira s", "uključuje", "proširuje" i "generalizacija". Korisnici su povezani sa različitim slučajevima korištenja putem komunikacijskih relacija. Relacijom generalizacije moguće je odrediti varijante osnovnog slučaja korištenja, a relacijama "uključuje" te "proširuje" je moguće utvrditi osnovnu funkcionalnost koja se dijeli između više različitih slučajeva korištenja.

Na slici 11. je dan je primjer dijagrama korištenja.

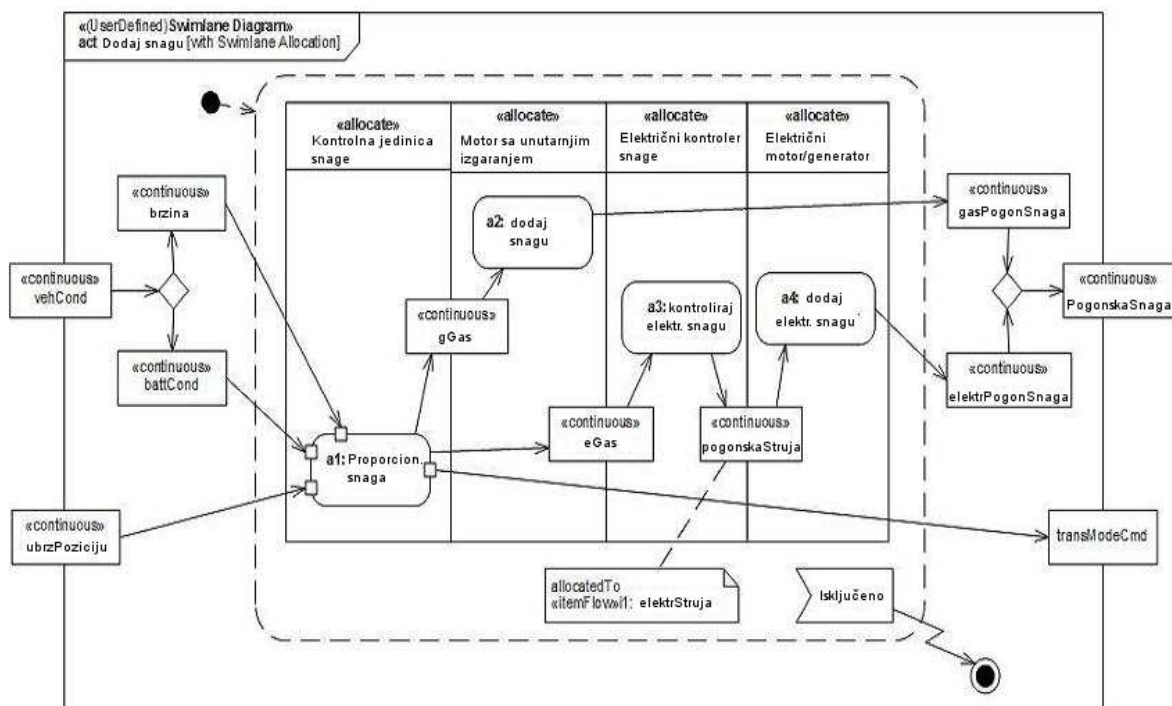
2.2.3 Dijagram zahtjeva

Dijagram zahtjeva je, u odnosu na UML 2.0, potpuno nov dijagram. Zahtjeve je moguće definirati na dva načina – putem alokacija te zahtjevima. U daljnjem tekstu će biti ukratko opisana oba načina.

Alokacija je pojam koji se koristi kako bi se označilo opisivanje elemenata unutar različitih struktura ili hijerarhija informacijskog modela. Prilikom modeliranja sustava, često se različiti elementi u korisničkom modelu prikazuju na pomalo apstraktan način. Alokacije se mogu koristiti u ranim fazama modeliranja kao prethodnica detaljnijim specifikacijama i opisima. Neke vrste alokacija su npr. općenite alokacije (od-do), alokacije ponašanja, alokacije strukture, alokacija iz softvera u hardver itd. Primjer ovakve alokacije je moguće vidjeti na slici 12.



Slika 11: Primjer dijagrama korištenja



Slika 12: Alokacije u dijagramu aktivnosti

Također, osim u dijagramima, alokacije je moguće prikazati i tablično ili matrično, kao što je vidljivo na slikama 13. i 14.

table [activity] Dodaj snagu [Allocation Tree for Dodaj snagu Activities]						
vrsta	ime	kraj	relacija	kraj	vrsta	ime
activity	A1: Proporcionalna snaga	from	allocate	to	blok	Kontrolna jedinica snage
activity	A2: Dodaj snagu	from	allocate	to	blok	Motor sa unutarnjim izgaranjem
activity	A3: Kontroliraj električnu snagu	from	allocate	to	blok	Električni kontroler snage
activity	A4: Dodaj električnu snagu	from	allocate	to	blok	Električni motor/generator
objectNode	Pogon struje	from	allocate	to	tok podataka	I1: Električna struja

Slika 13: Alokacije pomoću tablice

matrix [activity] Predaj snagu [Allocation Tree for Aktivnosti vezane uz snagu]					
Izvor	Cilj				
	Kontrolna jedinica snage	Motor sa unutarnjim izgaranjem	Električni kontroler snage	Električni motor/generator	I1: Električna struja
A1: Proporcionalna snaga	allocate				
A2: Dodaj snagu		allocate			
A3: Kontroliraj električnu snagu			allocate		
A4: Dodaj električnu snagu				allocate	
Pogon struje					allocate

Slika 14: Alokacije pomoću matrice

Zahtjev s druge strane specificira uvjet (ili sposobnost) koji može ili mora biti zadovoljen. On može specificirati funkciju koju sustav mora izvesti, ili pak razinu performansi koju sustav mora dosegnuti. SysML pruža mogućnost modeliranja zahtjeva tekstem te potom njihova povezivanja s drugim elementima. Kao i alokacije, zahtjeve je moguće prikazati grafički i tablično, no i tzv. **strukturuom stabla**. Također, zahtjev se može prikazati na različitim dijagramima (dakle, osim samog dijagrama zahtjeva) kako bi se pokazale relacije sa različitim elementima.

Zahtjev u sebi već uključuje dva svojstva – identifikaciju te tekst zahtjeva. Korisnik može definirati druga svojstva kao što su npr. metoda verifikacije ili kategorija zahtjeva itd. složeni zahtjev može u sebi sadržavati više podzahtjeva poredanih u hijerarhiji zahtjeva, pri čemu hijerarhija zahtjeva opisuje zahtjeve koji su sadržani u složenom zahtjevu. Ovakva veza omogućava dekompoziciju kompleksnih zahtjeva na njegovu elemente“.

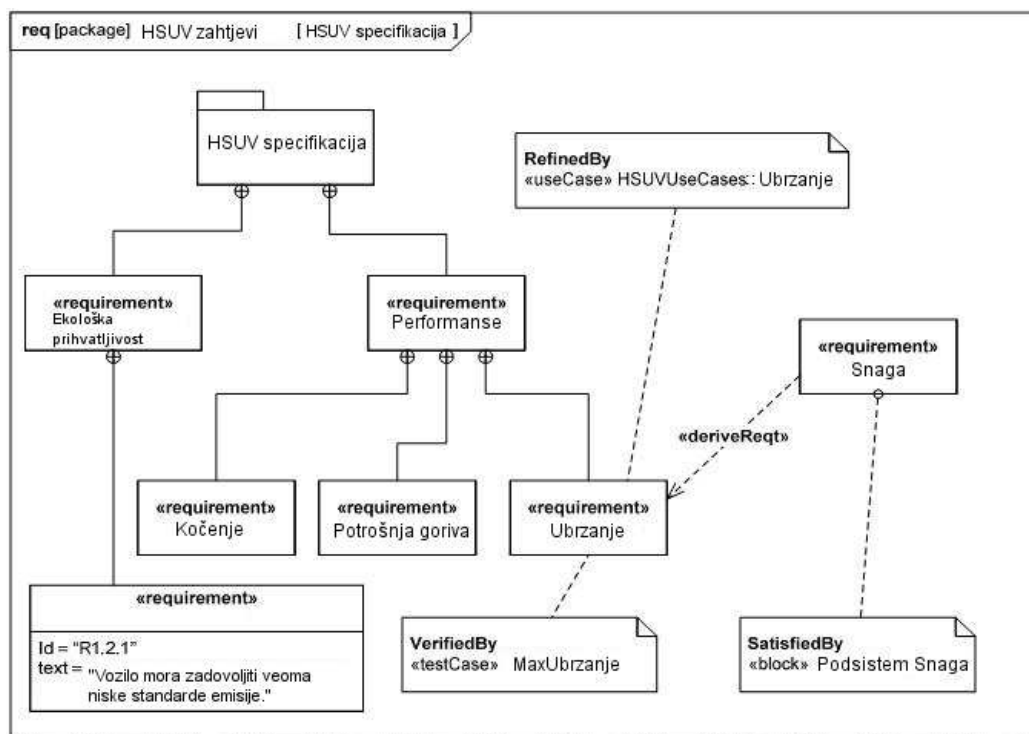
Koncept zahtjeva te njihove ponove uporabe je važan u mnogim aplikacijama – iz tog razloga je u SysML-u uveden koncept podređenog zahtjeva. Podređeni zahtjev je zahtjev čije je svojstvo teksta (tj. tekst zahtjeva) samo kopija (koju je nemoguće uređivati) istog tog svojstva nadređenog zahtjeva. To svojstvo je također ograničeno na način da ono mora biti isto kao svojstvo teksta kod povezanog nadređenog zahtjeva. Ova veza između nadređenog i podređenog je označena relacijom "kopira".

Uz relaciju "kopira", postoji još nekoliko relacija među zahtjevima – npr. "izvedeni zahtjev" povezuje izvedeni zahtjev sa izvornim zahtjevom, "zahtjev koji zadovoljava" koja opisuje kako implementirani model zadovoljava jedan ili više zahtjeva, "zahtjev koji potvrđuje" definira kako pojedini slučaj verificira zahtjev, "usitnjava zahtjev" koja opisuje kako se model ili skup elemenata mogu iskoristiti za daljnje definiranje zahtjeva, te "zahtjev koji prati" koja nam pak daje općenitu vezu između zahtjeva i nekog drugog elementa.

Kako bi se prikazali zahtjevi, koristimo tablicu zahtjeva. Tablica može uključivati:

- zahtjeve sa njihovim svojstvima prikazanim u kolonama
- kolonu koja uključuje vlasnika bilo koje veze ovisnosti
- kolonu koja uključuje elemente koji zadovoljavaju zahtjev
- kolonu koja predstavlja *razloge* za bilo koju relaciju, uključujući referencu na analitički izvještaj za npr. procedure ispitivanja i potvrđivanja

Primjer dijagrama zahtjeva je prikazan na slici 15., dok je primjer tablice zahtjeva prikazan na slici 16.



Slika 15: Primjer dijagrama zahtjeva

table [requirement] Performanse[Decomposition of Performance Requirement]		
id	name	text
2	Performanse	Hibridni SUV bi trebao imati kočenje, ubrzanje i off-road mogućnosti tipičnog SUV-a, ali znatno bolju potrošnju goriva
2.1	Kočenje	Hibridni SUV bi trebao imati mogućnosti kočenja poput tipičnog SUV-a
2.2	PotrošnjaGoriva	Hibridni SUV bi trebao imati znatno bolju potrošnju goriva od tipičnog SUV-a
2.3	OffRoadMogucnosti	Hibridni SUV bi trebao imati off-road mogućnosti poput tipičnog SUV-a
2.4	Ubrzavanje	Hibridni SUV bi trebao imati ubrzavanje poput tipičnog SUV-a

Slika 16: Primjer tablice zahtjeva

Ranije je rečeno kako je zahtjeve moguće prikazati strukturom stabla – na slici 17. je moguće vidjet na koji način se zahtjevi prikazuju ovom strukturom.

table [requirement] Performanse [Tree of Performance Requirements]

id	ime	relacija	id	ime	relacija	id	ime
2.1	Kočenje	deriveReq	d.1	RegenerativnoKočenje			
2.2	PotrošnaGoriva	deriveReq	d.1	RegenerativnoKočenje			
2.2	PotrošnaGoriva	deriveReq	d.2	Raspon			
4.2	KapacitetRezervoara	deriveReq	d.2	Raspon			
2.3	OffRoadMogućnosti	deriveReq	d.4	Snaga	deriveReq	d.2	UpravljanjeIzvoromSnage
2.4	Ubrzanje	deriveReq	d.5	Snaga	deriveReq	d.2	UpravljanjeIzvoromSnage
4.1	KapacitetPrtljavnika	deriveReq	d.6	Snaga	deriveReq	d.2	UpravljanjeIzvoromSnage

Slika 17: Primjer strukture stabla

3. Zahtjevi naručitelja vezani uz pretvarač električnih veličina tračničkih vozila

Pretvarač električnih veličina za potrebe industrije tračničkih vozila (lokomotive, vagoni i tramvaji) ima dvije osnovne funkcije: napajanje glavnog pogona (npr. asinkroni strojevi kod tramvaja) i napajanje pomoćnih trošila u tračničkim vozilima (npr. klimatizacija u vagonima). Pretvarač pri napajanju pogonske grupe pretvara istosmjerni ili izmjenični napon međukruga u zahtijevani napon neovisno o promjenjivosti. Zahtjevi naručitelja vezani uz pretvarač su preuzeti iz [4].

Zahtjevi naručitelja općenito se definiraju kao potrebe čije zadovoljenje kupac očekuje od proizvođača, pri čemu se mogu podijeliti na svojstva i značajke (karakteristike) proizvoda. Značajke koje definiraju proizvod neposredno određuje konstruktor odlukama o obliku, dimenzijama, strukturi, materijalu itd.. Svojstva proizvoda opisuje ponašanje proizvoda tijekom njegovog životnog ciklusa i konstruktor ih ne može direktno odrediti. Faze koji čine životni ciklus električnog pretvarača možemo podijeliti na:

- **Planiranje** – obuhvaća razvoj proizvoda od koncepcije do faze dokumentacije. Za naše pretvarače ono u ukupnoj cijeni iznosi 3% cijene pretvarača.
- **Razvoj pretvarača** promatrano u ukupnoj cijeni proizvoda iznosi 25% cijene pretvarača.
- **Proizvodnja** – u ukupnoj cijeni proizvoda iznosi 55%.
- **Montaža** – u ukupnoj cijeni pretvarača iznosi 10%.
- **Ispitivanje** – u ukupnoj cijeni pretvarača iznosi 5%. Poslije svake faze u proizvodnji nužno je provesti međufazno ispitivanje. Završetkom montaže uređaja provode se funkcionalna ispitivanja uređaja (serijska). Prema zahtjevu kupca jedan uređaj se izlaže tipskim ispitivanjima. Oba ispitivanja se vrše na dvije lokacije: u tvornici i vozilu. Za sva ispitivanja koja se provode postoji formular s opisom svakog pojedinog ispitivanja. Sva ispitivanja zahtijevaju angažiranost ljudi, vremena te opreme za ispitivanje.
- **Transport pretvarača** – sudjeluje u ukupnoj cijeni 1%.
- **Prodaja** – u ukupnoj cijeni pretvarača iznosi 1%. U ovu cijenu ulazi pripremna faza, dobivanje i proučavanje ponude, potpisivanje ugovora.
- **Eksploatacija** – predstavlja iskoristivost pretvarača. Pretvarač uzima energiju iz mreže i s nekim faktorom vraća energiju nazad u kontaktnu mrežu.
- **Ugradnja** – Na cijenu ugradnje posebno djeluje način oblikovanja pričvrsnih oslonaca pretvarača. Da bi se izbjegla složenost prihvata na vagon ili tramvaj, treba uvažiti želje kupaca jer se na taj način snižava cijena pretvarača.
- **Održavanje** – predstavlja vrlo važan sustav koji snažno utječe na ukupnu cijenu pretvarača. Zbog njegovog velikog utjecaja na cijenu, težilo se povećanju vremena između kontrolnih pregleda.
- **Recikliranje** – može unijeti daljnje teškoće u izračun cijene jer nije isto reciklirati materijale s povratnim i nepovratnim ciklusom. U slučaju materijala koji mogu biti reciklirani mnogo puta (čelik, aluminij, bakar) manji je udio recikliranja u ukupnoj cijeni pretvarača. Za materijale koji imaju nepovratan ciklus (elektroničke komponente, baterije) cijena se povećava jer ih se mora odlagati na posebno određena mjesta.

U odlomcima koji slijede prikazana je tehnička specifikacija pretvarača električnih veličina tvrtke KONČAR, temeljem analize zahtjeva.

3.1 Funkcije pretvarača

Vagonskim pretvaračem je na najmoderniji način riješeno napajanje trošila u putničkim klimatiziranim vagonima na svim europskim prugama u cilju postizanja pune udobnosti putnika. Napajanje pretvarača vrši se iz voda električnog grijanja i radi na bilo kojem od četiri UIC sustava napona napajanja:

- izmjenični 1000 V, 16 2/3 Hz,
- izmjenični 1500 V, 50 Hz,
- istosmjerni 1500 V,
- istosmjerni 3000 V.

Pretvarač ima tri izlaza. Na izlazu 1 vrši se napajanje grijača naponom 3x400/230 V izmjenično 50 Hz. Nazivna snaga je 30 kVA. Izlaz 2 vrši napajanje naponom od 3x90 do 400 V, izmjenično od 20 do 90 Hz, uz nazivnu snagu 30 kVA. Izlaz 3 namijenjen je za punjenje akumulatorske baterije i napajanje trošila 24 V krugova.

Tramvajski pretvarač treba iz postojećeg napona tramvajske mreže oblikovati trofazni izmjenični napon promjenjive amplitude i frekvencije prikladan za napajanje dva asinkrona vučna motora.

Podaci ulaza:

- nazivni ulazni napon 600 V
- maksimalna ulazna struja u vuči 400 A
- maksimalna ulazna struja u kočenju 600 A.

Podaci izlaza:

- nazivni izlazni napon u vuči 3x320 V,
- nazivni izlazni napon pri kočenju 3x520 V,
- nazivni izlazni napon pri kočenju u nuždi 3x655 V,
- frekvencija izlaznog napona od 0 do 143 Hz.

3.2 Utjecaj okoline

Pretvarači predstavljaju sofisticirani proizvod koji u sebi sadrži vrlo složene komponente i podsklopove. Da bi se postigla kakvoća proizvoda, nužno je osigurati odgovarajuće uvjete proizvodnje: čist i suh prostor, sobnu temperaturu, vrlo pažljivo postupanje pri proizvodnji i sklapanju pretvarača.

Pri korištenju pretvarača na njih naglašeno djeluju: vlaga, toplina, vibracije i nečistoće, i to bez obzira na način ugradnje (viseći, ležeći). Zbog toga uređaj mora biti projektiran i izveden tako da ispunji zahtjeve nepropusnosti (stupanj zaštite IP54) i otpornosti na vibracije i udare.

"KONČAREVI" pretvarači nemaju štetno djelovanje na okoliš, ali problem bi se mogao pojaviti poslije završetka životnog ciklusa pri recikliranju i odlaganju jer u ovom trenutku nitko o tome ne vodi brigu.

3.3 Životni vijek i servisiranje

Ugradnjom pretvarača na tračničko vozilo počinje njihov radni ciklus, njihovo intenzivno korištenje jer su povezani s pogonima i napajanjima koji su aktivni pri svakom gibanju tračničkog vozila. Eksploatacijsko vrijeme trajanja pretvarača je dvadeset godina. Ove generacije pretvarača će se proizvoditi tri do pet godina, poslije čega se zbog zahtijeva za većom snagom mora napraviti rekonstrukcija.

Na svim tipovima pretvarača nužno je provođenje odgovarajućeg održavanja. Zbog toga se pri projektiranju i konstrukciji vodilo računa o jednostavnom rukovanju i održavanju. Pri održavanju pretvarača najvažnije je da su dostupne elektroničke komponente, moduli i energetske podsklopovi.

Servisiranje proizvoda snažno utječe na životni vijek proizvoda. Organiziranjem fleksibilne službe održavanja koristeći blizinu glavnih kupaca i povećanjem vremena između kontrolnih pregleda postiže se produljenje životnog ciklusa pretvarača.

Tramvajski pretvarači imaju preglede ovisno o broju prijeđenih kilometara. Kod njih razlikujemo:

- preventivni pregled nakon 100 km po puštanju vozila u promet (tehnički pregled),
- nulti servis nakon 500 – 1000 km po puštanju vozila u promet,
- prvi servis nakon svakih 5000 km – 20%,
- drugi servis nakon svakih 15000 km – 20% (preventivni tehnički pregled),
- srednji popravak nakon 90000 km (tehnički pregled),
- veliki popravak nakon 180000 km (tehnički pregled),
- generalni popravak nakon 900000 km (tehnički pregled).

Vagonski pretvarači imaju periodičke preglede ovisno o vremenu eksploatacije. Kod njih razlikujemo:

- mjesečni pregled
- mali i srednji popravci – vrše se u određenim periodima ovisno o podsustavu koji se održava. Vrijeme između dvije provjere je od jedne do deset godina (zamjena amortizera, sklopika, ventilatora).

Neki uređaji imaju poseban način održavanja koji određuje proizvođač. To su rastavljač–uzemljivač i uređaj za nužni start.

3.4 Ciljani troškovi

Za analizu troškova i cijenu koštanja temelj je prosječna cijena sličnog pretvarača na svjetskom tržištu. Cijena pretvarača ne bi smjela odstupati u odnosu na tu cijenu više od 10%. Tu razliku u cijeni nadoknađuje se kakvoćom servisiranja i održavanja pretvarača.

3.5 Transport pretvarača

Transport pretvarača vrši se prema postupniku da se izbjegnu moguća oštećenja nosive konstrukcije i oplata pretvarača. Ako se pretvaračem ne rukuje na odgovarajući način, može doći do trajnih deformacija pretvarača i oštećenja pokrovnog sloja boje, što uzrokuje otežanu (nemoguću) montažu i pojavu korozije.

Zahtjevi glede transporta pretvarača postavljaju se već prilikom projektiranja i konstrukcije pretvarača. Nosači ili plohe koje služe za transport projektiraju se s dodatnim ojačanjima. Prilikom transporta na mjesto ugradnje, pretvarač se mora nalaziti na ravnoj i krutoj drvenoj podlozi koja mora biti osigurana protiv pomicanja.

Prilikom transporta pretvarač se zaštićuje PVC-folijom. Za podizanje pretvarača koriste se posebni navojnici. Ukoliko je rukovanje pretvaračem složenije zbog njegove konstrukcije, to će utjecati i na njegovu ugradnju jer on predstavlja jedinstvenu cjelinu i tome su prilagođeni njegov oblik, način transporta i učvršćenja.

3.6 Pakiranje pretvarača

"KONČAR" pretvarači se strukturalno sastoje od temeljne zavarene nosive strukture, oplata, zračnih kanala, električne opreme i pomoćnih nosača opreme. Pretvarač je nepropusno brtvljen prema okolini, zaštita IP 54, a svi metalni dijelovi su zaštićeni sa više slojeva boje. Za pretvarače nije potrebno posebno pakiranje da bi se otpremili na mjesto ugradnje. Već je prije navedeno da se oni samo omotaju PVC folijom koja ima funkciju zaštite vanjskog sloja boje.

3.7 Veličina i težina

Pretvarač je određen svojom masom i dimenzijama. Budući da se pretvarač ugrađuje u viši sklop, tračničko vozilo, njegove dimenzije su određene u strogim tolerancijama da bi se što jednostavnije ugradio. Slično se događa i s težinom, koju kupac u svojim zahtjevima postavlja kao jedan od glavnih projektnih uvjeta za pretvarač. Proizvodnja i transport ne postavljaju nikakva ograničenja na maksimalne dimenzije i težinu.

Tramvajski pretvarač ima dimenzije: 1815x1280x556mm i masu 419 kg.

Vagonski pretvarač ima dimenzije: 2744x1900x602mm i masu 1598 kg.

3.8 Izgled, pojava i završna obrada

S obzirom na način i mjesto ugradnje, pretvarač je posebno izložen atmosferskom utjecaju. Viseći pretvarači se ugrađuju ispod vozila i posebno su izloženi utjecaju vlage i prašine. Ležeći pretvarači se ugrađuju na krov vozila i izloženi su: vlazi, prašini i sunčevu zračenju. Zbog navedenih razloga kupci imaju posebne zahtjeve na brtvljenost konstrukcije i vanjsku zaštitu bojom.

3.9 Materijali za izradu

Za izradu pretvarača koriste se opći konstrukcijski čelici S355J2G3 prema DIN EN 10025 i nehrđajući čelici. Opći konstrukcijski čelici koriste se za izradu osnovne nosive konstrukcije s oplata, a nehrđajući za nosače teže opreme unutar pretvarača.

Posebni zahtjev za opće konstrukcijske čelike je žilavost na -20°C za dijelove izložene velikim opterećenjima (osnovna nosiva konstrukcija). Za dijelove pretvarača koji nisu izloženi opterećenju niti atmosferskim utjecajima koriste se čelici S235JR ili S235J0 prema DIN 10025.

U pretvaračima koje proizvodi "KONČAR" koriste se ekološki neškodljivi materijali.

3.10 Standardi

Pretvarači su izrađeni u skladu s propisima međunarodne željezničke udruge: UIC 550, UIC 552, UIC 557 i UIC 626 koji definiraju sustave napajanja. Opći zahtjevi za pretvarače na tračničkim vozilima definirani su s UIC 566 i IEC 61287.

3.11 Ergonomija

Pretvarači moraju ispuniti nekoliko zahtjeva glede ugradnje i održavanja. Temeljni zahtjev glede ugradnje na tračničko vozilo je jednostavnost. Zbog toga se već pri projektiranju i konstrukciji pretvarača mora voditi briga o obliku pretvarača, ovješenu i oblikovanju pričvrstnih mjesta pretvarača. Da bi se osigurao što jednostavniji pristup otvorima pretvarača, nužno je predvidjeti montažni prostor oko njega i dovoljno velike pristupne otvore. Na tramvajskim pretvaračima otvori za pristup i održavanje pretvarača nalaze se s gornje strane. Na vagonskim pretvaračima otvori za pristup i održavanje nalaze se s prednje i stražnje strane. Dimenzije otvora su prilagođene brzom i jednostavnoj izmjeni dijelova i sklopova. Uređaji i sklopovi u pretvaraču izvedeni su u modularnom obliku. Električni moduli su standardizirani po obliku, veličini, priključcima i načinu ugradnje i lako izvlačivi pomoću vodic.

Energetski priključci električnih modula izvedeni su konektorima po principu utikača. Na taj način omogućena je vrlo brza i laka zamjena neispravnog električnog modula. Svi električni moduli pretvarača moraju kod visećih biti zamjenjivi s prednje (stražnje) strane otvaranjem vrata ili kod ležećih s gornje strane, skidanjem poklopca.

3.12 Kvaliteta i pouzdanost

Vrlo je teško odrediti vrijeme rada uređaja prije javljanja pogreške jer to ovisi o ugradnji, uvjetima eksploatacije i održavanju. Pri razvoju svake nove generacije pretvarača povećava se vrijeme između kontrolnih pregleda da bi se smanjila cijena servisa, a time i ukupna cijena pretvarača.

Da bi pretvarač uvijek vršio svoju aktivnost u njemu se ne smiju dogoditi sljedeće pogreške:

- Poslije isključenja pretvarača s mreže on još uvijek može sadržavati opasne napone koji mogu uzrokovati smrt i teško ozljeđivanje. Zbog toga treba uvijek pričekati određeno vrijeme da se potvrdi ne postojanje napona.
- Pojedine komponente moraju biti uzemljene na određenim priključcima. Nikada se ne smije dogoditi da komponenta nije uzemljena. Treba paziti da nakon demontaže i ponovne montaže budu priključene njihove vezice uzemljenja.
- Elektroničke kartice smiju se zamjenjivati samo uz isključene sve napone.

3.13 Skladištenje i spremanje

Poslije završetka proizvodnje i ispitivanja može se dogoditi da se pretvarač odmah ne ugrađuje na tračničko vozilo. U tom slučaju potrebno je pretvarač skladištiti u čistom i suhom prostoru. Pretvarač je potrebno staviti na čvrstu drvenu podlogu. Ovakav način skladištenja ne zahtijeva posebne metode konzerviranja jer je vremensko trajanje ograničeno (do mjesec dana) pri zadovoljavajućim atmosferskim uvjetima.

3.14 Ispitivanje

Poslije svake faze proizvodnje nužno je provesti međufazno ispitivanje. Završetkom proizvodnje pretvarača provode se funkcionalna (serijska) ispitivanja. Serijska ispitivanja obuhvaćaju: vizualni pregled, provjeru dimenzija i tolerancija, provjeru označavanja, ispitivanje zaštite, ispitivanje s malim opterećenjem, ispitivanje izolacije, ispitivanje ponašanja pretvarača na kratkotrajne prekide napajanja.

Prema zahtjevu kupca jedan pretvarač se izlaže tipskim ispitivanjima. Tipska ispitivanja obuhvaćaju: vizualni pregled, provjeru dimenzija i tolerancija, određivanje mase, provjeru označavanja, ispitivanje hlađenja, ispitivanje zaštita, ispitivanje s malim opterećenjem, ispitivanje stupnja mehaničke zaštite, mjerenje buke, ispitivanje zagrijavanja, ispitivanje na nagle promjene opterećenja, ispitivanje izolacije, ispitivanje otpornosti na vibracije i udare, ispitivanje elektromagnetske kompatibilnosti, ispitivanje pretvarača na skokovite promjene napajanja, ispitivanje pretvarača na kratkotrajne prekide napajanja, klimatska ispitivanja, ispitivanje izlaznih karakteristika, ispitivanje starta i ponovnog starta.

3.15 Sigurnost

Već je ranije navedeno da pretvarač poslije uzemljivanja sadrži opasne napone koji mogu uzrokovati smrt ili teške povrede u slučaju nepažljivog rukovanja. Pretvaračem mogu rukovati samo osobe koje su prošle školovanje koje je proveo proizvođač pretvarača i o tome imaju odgovarajuće uvjerenje, a na temelju stručnog obrazovanja, iskustva, uputa i poznavanja sigurnosnih propisa sposobne su prepoznati i izbjeći moguće opasnosti.

Općenite mjere sigurnosti su:

- nikad ne raditi sam,
- isključiti pretvarač sklopkom u središnjem elektro-razvodnom ormaru vagona,
- uzemljiti pretvarač potpunim otvaranjem vrata uzemljivača-rastavljača,
- osigurati se od ponovnog uključenja napona stavljanjem lokota na uzemljivač-rastavljač,
- utvrditi beznaponsko stanje,
- upotrebljavati zaštitnu opremu i alat.

Zbog sigurnog električnog rada pretvarača i zaštite osoblja, u sanduk pretvarača ne smiju prodirati voda, nečistoće i prašina. To se postiže brtvljenjem oplata, vrata, poklopaca i rashladnih kanala te filtriranjem zraka na odušcima za ispušt kondenzata. Potrebno je provjeriti ispravnost brtvi.

3.16 Ugradnja

Temeljni zahtjev koji se javlja ugradnjom pretvarača izvan tvornice te podučavanjem načina korištenja i upravljanja je pitanje sigurnosti. Pretvarač uvijek mora biti ugrađen tako da se njime upravlja na siguran način bez ikakve opasnosti.

3.17 Ponovno korištenje, recikliranje, odlaganje

Za proizvodnju pretvarača upotrebljavaju se materijali koji imaju povratni ciklus recikliranja (čelik, aluminij, bakar) i materijali s nepovratnim ciklusom (elektroničke pločice, izolacione ploče i baterije). Metalnim materijalima se može produžiti životni ciklus ponovnim korištenjem, dok se materijali s nepovratnim ciklusom moraju odlagati na posebno određena mjesta što povećava cijenu pretvaraču.

3.18 Zakonska i ugovorna regulativa

Već je u prethodnom poglavlju navedeno da su pretvarači izrađeni u skladu s propisima međunarodne željezničke udruge: UIC 550, UIC 552, UIC 557 i UIC 626 koji definiraju sustave napajanja. Opći zahtjevi za pretvarače na tračničkim vozilima definirani su s propisima: UIC 566, IEC 61287, EN 50207, IEC 61373 i EN 12663. Sa strojarskog gledišta posebno su značajni UIC 566, EN 12663, IEC 61287 i IEC 61373.

Temeljni propis za proračun učvršćenja pretvarača na vagon je **UIC 566 – Ispitivanje sanduka i njihovih dijelova**. Ostala moguća opterećenja pretvarača (dizanje dizalicom, viličarom, transport, itd.) nisu posebno proračunavana jer, ako se pretvaračem rukuje u skladu s tehničkom dokumentacijom, ta opterećenja su manja od onih propisanih u UIC 566.

Temelj za konstrukciju i ispitivanje nosive konstrukcije pretvarača koji se nalazi na sanduku tramvaja su standardi EN 12663 i IEC 61373. U ovom slučaju su se koristila oba standarda jer u EN 12663 nije definirano ispitivanje opreme. Za projektiranje i vagonskog i tramvajskog pretvarača korišten je IEC 61287.

Minimalna opterećenja koja sanduk i oprema sanduka moraju izdržati definirana su u normi **EN 12663**. Definirano je i koje su karakteristike gradbenog materijala relevantne za pojedinu vrstu opterećenja. Pretpostavlja se provjera kvalitete pruge te jesu li struktura i namjene vozila adekvatni za primjenu ove norme. Način analize, oblik i kombinacije definiranih opterećenja trebaju biti dogovorene između konstruktora i korisnika. Definirani su i zahtjevi na ispitivanje čvrstoće sanduka, ali nije definiran način dokazivanja čvrstoće tj. ispitivanja opreme.

3.19 Izvori buke na pretvaračima i načela utvrđivanja razine buke

Na pretvaračima susrećemo tri izvora buke: aerodinamički, magnetski i mehanički. Projektant i konstruktor najviše mogu utjecati na mehaničku buku, dok na druga dva izvora utječu postavljanjem zahtjeva dobavljačima s ciljem da ukupna buka bude u dozvoljenim granicama, a mjere, masa i cijena komponenata budu prihvatljive. Izvori aerodinamičke buke u pretvaraču su ventilatori. Parametar koji najviše utječe na buku je ukupni tlak ventilatora. Sljedeći značajni parametri su: stupanj korisnosti, protok, položaj ispuha zraka u odnosu na točke u kojima se mjeri buka. Da bi se smanjila aerodinamička buka pretvarača, potrebno se držati sljedećih načela:

- odabrati ventilator s većim stupnjem korisnosti – znači imati i veći ukupni tlak,
- ako je moguće odabrati centrifugalni ventilator jer on ima manju buku od aksijalnog ventilatora,
- treba izbjegavati dvopolne motore s obzirom na veliki skok brzine pri promjeni polariteta s $2p=4$ na $2p=2$.

Aerodinamička buka se tehnički relativno lagano rješava ako se može ugraditi prigušivač. Prigušivač radi na principu upijanja zvučne energije strujanja.

Izvori magnetske buke u pretvaraču su magnetske komponente. One buku stvaraju vibracijama magnetskih limova u: motorima, transformatorima, prigušnicama i drugim električkim komponentama pretvarača. Proizvođači magnetskih komponenti sniženje buke vide kao značajno sredstvo kakvoće u tržišnoj utakmici. Da bi se smanjila magnetska buka, potrebno se držati sljedećih načela:

- voditi brigu o debljini jarma i gustoći magnetskog toka kod elektromotora jer su to najutjecajniji parametri,
- pri paketiranju limova kod elektromotora i dosjeda u kućište treba izabrati labavi dosjed umjesto čvrstog,
- kod transformatora treba također voditi brigu o paketiranju limova i gustoći magnetskog toka.

Odabir materijala i debljina limova ne utječe na aerodinamičku, nego na mehaničku buku.

Mehanička buka nabrojenih komponenti podliježe sljedećim načelima:

- u elektromotorima su ležajevi (pogotovo nakon starenja) najveći izvor mehaničke buke. Prilikom oblikovanja ležajnih mjesta važan je izbor tipa ležaja i način ugradnje (bolji su labaviji nego čvrsti spojevi),
- u ventilatorima su izvor mehaničke buke tanki limovi i nedovoljno čvrsti spojni elementi, loši spojevi dijelova,
- na spojnim mjestima električnih komponenti izvor buke su loši spojevi. Treba težiti spojevima koji ne dovode do savojnih djelovanja,
- gdje god je moguće ravne limove treba plastično deformirati u neravan oblik, većeg momenta inercije,
- konstrukcija napravljena od cijevnih profila povoljnija je od konstrukcije s otvorenim profilima,
- uporaba gumenih brtvi i lijepljenih spojeva smanjuje širenje buke s izvora na druge dijelove.

Buka koju stvara pretvarač definirana je akustičnom klasom D prema IEC 61287. Za klasu D razina buke je 65 dB_A.

3.20 Izvori vibracija na pretvaračima i načela utvrđivanja razine vibracija

Vibracije nastaju kada se preklope frekvencije poremećajne sile i vlastite frekvencije dijelova ili sklopova na pretvaraču. Poremećajne frekvencije ovise o višekratniku brzine vrtnje rotirajućih dijelova pretvarača, o višekratniku radnih frekvencija električnih komponenti te o brzini vožnje pretvarača. Vlastitih frekvencija dijelova i sklopova ima veliki broj, a one ovise o elastičnoj deformaciji (progibu). Ovako nastala deformacija može biti dužinska (okomita na presjek), savojna, torziona ili na izvijanje. Za dužinsku deformaciju mjerodavni su modul elastičnosti i presjek profila. Kako bi se izbjegle niže vlastite frekvencije, treba se držati sljedećih načela:

- za gradbeni materijal koristiti čelik gdje je to god moguće
- presjek na kritičnom mjestu ne smanjivati.

Za savojne vibracije, koje su najčešće kod pretvarača, povećanje prve kritične brzine se postiže povećanjem umnoška EI . Modul elastičnosti E najveći je za čelik. Moment tromosti I oko bilo koje osi ovisi o položaju osi i obliku presjeka. Principi izbjegavanja fleksionih vibracija su sljedeći:

- za gradbeni materijal koristiti čelik gdje je to god moguće
- presjek profila birati zatvoren (cijevi različitih presjeka) ako nije poznat smjer sila koje će izazvati progib
- ako su sile koje izazivaju progib poznate i male, profili mogu biti i otvoreni (U – profili, L – profili)
- ravnim limenim ploham treba povećati moment tromosti I plastičnim deformacijama ravne plohe (bombiranje, porubljivanje)
- razmak među osloncima profiliranih dijelova konstrukcije treba držati što manjim jer fleksioni progib raste s četvrtom potencijom dužine.

Torzione vibracije i vibracije uslijed izvijanja rijetke su na pretvaračima, a rješavaju se povećanjem polarnog momenta tromosti uporabom zatvorenih profila (cijevi različitog presjeka).

3.21 Izolacijski razmaci u pretvaračima i zaštita od dodira

Norma EN 50124-1 definira izolacijske razmake na željezničkim uređajima. Ova norma se primjenjuje za opremu koja se upotrebljava u signalnim, voznim i fiksnim instalacijama do dvije tisuće metara nadmorske visine. Izolacijski razmaci se odnose na izbor, dimenzioniranje i izolaciju unutar uređaja i u odnosu na druge uređaje. Pri dimenzioniranju izolacije, električna naprežanja i uvjeti okolice se uzimaju u obzir. Norma određuje:

- zahtjeve za zračnost i puzne staze između opreme
- opće zahtjeve za ispitivanje odgovarajućih izolacijskih razmaka.

Norma definira temeljne pojmove vezane uz izolacijske razmake:

- *zračnost* – predstavlja najkraću udaljenost između dva konduktivna dijela mjerena u zraku
- *puzna staza* – predstavlja najkraću udaljenost duž izolacijske površine između dva konduktivna dijela.

Izolacija osigurava da uređaj funkcionalno zadovoljava. Ona može biti osnovna, i tada se odnosi na zaštitu ljudi, a vezana je na dio pretvarača koji je pod naponom ili koji nije, ali se zbog sigurnosti uzemljuje. Dodatna izolacija se stavlja kada se metalni dio pod naponom ne može uzemljiti. Dvostruka izolacija predstavlja kombinaciju osnovne i dodatne. Pojačana izolacija se primjenjuje ako se osnovna i dodatna ne mogu razdvojiti (pobudni stupanj ima pojačanu izolaciju).

Mikrookolina određuje utjecaj onečišćenja na izolaciju pa se pri razmatranju mora uzeti i njen utjecaj u obzir. Smanjenje utjecaja onečišćenja na izolaciju može se postići ograđivanjem i brtvljenjem.

Zaštita od izravnog dodira sa "živim dijelovima" postiže se: izolacijom ili postavljanjem "živih dijelova" u prostor koji je van dosega. Osim izravnog dodira kod zaštite se definira i pojam neizravnog dodira koji se odnosi na dijelove koji normalno nisu pod naponom i nikad ne bi trebali niti doći pod napon. Ovaj problem se rješava uzemljivanjem dijelova. Na uređaje se stavljaju i pločice upozorenja koje govore da se opasan način zadržava određeno vrijeme poslije uzemljenja uređaja. Problem neizravnog dodira rješava se izjednačavanjem potencijala svih komponenata.

3.22 Elektromagnetska kompatibilnost u pretvaračima

Elektromagnetska kompatibilnost se definira kao sposobnost uređaja da rade ispravno u svom elektromagnetskom okruženju bez unošenja nedopustivih elektromagnetskih smetnji u bilo što u tom okruženju. Uz nju su vezani temeljni pojmovi (HRN IEC 60050):

- *elektromagnetska emisija* – pojava kod koje se elektromagnetska energija širi iz izvora
- *elektromagnetska smetnja* – bilo koja elektromagnetska pojava koja može oslabiti radne značajke naprave, uređaja ili sustava ili nepovoljno utjecati na živu ili neživu tvar
- *otpornost na smetnju* – sposobnost naprave, uređaja ili sustava da bez pogoršanja radi u prisutnosti elektromagnetske smetnje.

Pri projektiranju pretvarača ne smije se dogoditi da uređaj u radu smeta izvoru napajanja, trošilima ili uređajima koji nisu vezani uz pretvarač (mobiteli). Da bismo to ostvarili, u pretvarač stavljamo ulazne filtre (prigušnice i kondenzatore), a na izlaz izlazne filtre (sinus filtri i kondenzatori). Na taj način smo riješili problem konduktivnih smetnji koje nastaju u vodičima, i smetnji zračenja. Zračenje eliminiramo i geometrijom, smještajem uređaja u čelični sanduk i povezivanjem kabela unutar uređaja. Načinom upravljanja ispunjavamo norme za sastav harmonika.

Otpornost na smetnje koje dolaze izvana postizemo filtrima i čeličnim sandukom, a unutar uređaja postizemo razdvajanjem signalnih i energetske kabela, uporabom svjetlovoda koji su otporni na smetnje i razmještajem komponenata. U energetskim krugovima smetnje izbjegavamo smanjivanjem petlji, oklapanjem energetskih vodova, oklapanjem signalnih vodova i upletanjem vodova.

3.23 Čistoća zraka u pretvaraču

Za siguran rad pretvarača nužno je dovoditi svježi zrak koji služi za hlađenje kritičnih komponenti koje dugotrajno rade u nepovoljnim uvjetima. Sustav prisilnog zračnog hlađenja izveden je obično zračnim kanalima koji mogu biti dio rashladnog tijela ili kao zasebni limeni kanali na kojima su ugrađene komponente koje treba hladiti. Promatrano s termodinamičkog gledišta, hlađenje bi uspješno vršio atmosferski zrak. Problem vezan uz atmosferski zrak je njegova nečistoća (metalne čestice, prašina, organske nečistoće, tekućine, itd.), koja može uzrokovati električni proboj pojedinih komponenata. Da bi se izbjegli mogući električni problemi, zrak koji hladi komponente pretvarača mora biti fizički odvojen od zraka u pretvaraču. Odvajanje ovih dviju struja vrši se sustavom brtvljenja rashladnog tijela ili zračnog kanala prema kućištu pretvarača.

U pretvaračima postoje dijelovi gdje nije moguće postići odvajanje "nečiste" i "čiste" struje zraka. Komponente koje se nalaze u "nečistoj" struji moraju biti posebno izolirane što povećava cijenu izrade cijelog pretvarača. Atmosferski zrak je po svojoj prirodi "nečist", ali se prije ulaska u pretvarač želi iz njega odvojiti relativno velike čestice nečistoća (krupnije od 3mm). Za ovakvo odvajanje koriste se inercijski filtri. Temeljna značajka inercijskih filtra je da odvajaju od zraka

samo bitno gušće čestice od čestica zraka (metali, tekućine, organske čestice, itd.), na načelu inercije pri promjeni smjera struje zraka i čestica s njom. Druga karakteristika inercijskih filtra su uski kanali koji ne propuštaju čestice $>3\text{mm}$. Njihova treća značajka je da onemogućavaju upad atmosferskih oborina kod kutova većih od 45° u odnosu na horizontalu.

Ispred filtra, s vanjske strane, poželjno je postaviti metalnu mrežicu da se poveća njegova efikasnost. Postoji velik broj oblika poprečnog presjeka koji zadovoljavaju navedene zahtjeve. Određivanje njihovog oblika se ostavlja na izbor konstruktoru filtra, a pri konstruiranju pretvarača će se odrediti dimenzije pravokutnih otvora za filtre i priрубnice za učvršćenje filtra.

Uz inercijske, u pretvaračima koristimo i apsorpcijske filtre. Apsorpcijski filtri grupirani će se također po geometrijskim dimenzijama i odgovarajućim priрубnicama na isti način kao inercijski. Proračunski karakteristična veličina na apsorpcijskom filtru je maksimalna brzina u otvorima filtra koja je jednadžbom povezana s brzinom zraka ispred filtra. Poprečni presjek i funkcija apsorpcijskog filtra u odnosu na inercijski su potpuno različiti jer je apsorpcijski filter vlaknaste konstrukcije s mikronski velikim mjernim porama. Vlakna su najčešće od umjetne mase, ali mogu biti i od metalnih niti. Uz grupiranje po geometrijskim parametrima apsorpcijski filtri grupirani će se po još dva kriterija:

- najveća dimenzija čestice koja može proći kroz čisti filter,
- prema održavanju mase za filtriranje: izmjenjivi ili oni koji se višekratno čiste mlazom zraka ili vode.

Za proračun mjera filtra presudan je protok zraka kroz filter i preporučiva čelna brzina ispred filtra, koju predlaže projektant filtra. Jednadžbom kontinuiteta lako se dobije čelna površina kao kvocijent protoka i čelne brzine. Na temelju toga konstruktor odabire površinu koja zadovoljava i druge kriterije.

3.24 Zaštita od vanjskih utjecaja

Kućiste pretvarača, u sprezi s poklopcima, uz temeljnu funkciju nošenja opreme ima zadatak zaštititi unutrašnjost pretvarača od vanjskih utjecaja (kiša, snijeg, prašina, itd.).

Da bi se ispunili ovi zahtjevi, nužno je kućiste s oplatama izvesti potpuno nepropusnim, a poklopcima osigurati potpuno brtvljenje kućišta. Da bi se postigla nepropusnost konstrukcije pretvarača, nužno je postizanje potpunog provara zavarenih spojeva konstrukcije. Moguće vidljive pogreške na zavarenim spojevima treba obvezatno popraviti brušenjem i ponovnim zavarivanjem.

Pretvarači su projektirani i proizvedeni u stupnju mehaničke zaštite **IP54**. Pri projektiranju i ispitivanju pretvarača "KONČAR" pooštreni su kriteriji na taj način da u pretvaračima ne smije biti niti tragova vode ili prašine jer su podvrgnuti izuzetno teškim uvjetima rada. Na taj način povećana je kakvoća proizvedenih uređaja. Da bi se postigao ovaj stupanj zaštite, radna temperatura mora biti od -20°C do $+50^\circ\text{C}$, uz vlagu do 93%.

3.25 Odvod kondenzata iz pretvarača

Pojam kondenzacije može se definirati kao pojava prelaska plinovitog u tekuće agregatno stanje, pri čemu se oslobađa toplina.

Pretvarači, koliko god kvalitetno izrađeni i dobro brtvljeni, izloženi su utjecaju kondenzacije uslijed normalnih radnih aktivnosti.

Vlaga je prirodna pojava u svakodnevnom životu, te se kondenzacija javlja kao posljedica visoke koncentracije vlage u zraku. Češće se događa zimi, kada je razlika između radne temperature uređaja i vanjske temperature velika – topao i vlažan zrak na hladnoj površini se hladi i nastaju kapljice vode. Nastali kondenzat stvara se po cijeloj površini pretvarača i slijeva se na donje površine pretvarača. Jedini mogući način kako spriječiti ovu pojavu je odzračivanje i održavanje temperature na određenoj razini. Dugotrajno nastajanje kondenzata može oštetiti boju i kućište pretvarača. Ako bi se željelo izbjeći nastajanje kondenzacije na ovaj način, to bi iziskivalo dodatne troškove pri projektiranju i konstrukciji pretvarača. Ekonomski i projektno puno prihvatljivije je fizičko odvođenje kondenzata iz uređaja.

Uobičajeni način odvođenja kondenzata se postiže konstrukcijom podnice pretvarača pod kutom nagiba $>3^\circ$, od rubova prema sredini. Podnica pretvarača zbog toga se izrađuje u alatu koji osigurava tražene zahtjeve. U sredini podnice probušen je otvor promjera $>10\text{mm}$, kroz koji se odlijeva nastali kondenzat. Da bi se spriječio ulaz različitih atmosferilija kroz ovaj otvor, on je zatvoren spužvom čije sigurno nalijezanje na otvor ostvaruje metalni držač.

Kod pojave kondenzacije potrebno je zadovoljiti sljedeće uvjete da ne dođe do štete na pretvaraču:

- dio koji dolazi u dodir s kondenzatom ne smije se oštetiti,
- nastali kondenzat mora se odvesti iz uređaja.

4. Funkcijska dekompozicija pretvarača i izbor tehničkih rješenja

Dekompozicija funkcije složenih sustava je aktivnost pri konstruiranju kojom se kompleksni sustav dijeli na više jednostavnijih podsustava čija se problematika tako može rješavati neovisno. Rješenja pojedinih podsustava daju rješenje kompleksnog sustava. Dekompozicija predstavlja iterativni proces pri kojem ne treba ići do najsitnijih detalja (vijci i matice). Pri dekompoziciji, aktivnosti u sustavu se prikazuju pravokutnicima, a sučelja su prikazana strelicama. Sučelja mogu biti: ulazi, izlazi, kontrole i mehanizmi. Ulazi mogu biti materijal, energija, rad i informacija kada je svrha aktivnosti njezina transformacija u sustavu. Izlazi se koriste kao ulazi u daljnjim aktivnostima. Provođenje aktivnosti odvija se pomoću kontrole. Mehanizmi koji djeluju na aktivnosti su osobe, strojevi, softver, itd. U ovom će se radu analizirati samo funkcijska struktura tramvajskih pretvarača. Dekompozicija funkcije je preuzeta iz [4].

4.1 Funkcijska dekompozicija tramvajskog pretvarača

Na prvoj funkcijskoj razini definira se ukupna funkcija tramvajskog pretvarača, koja je prikazana slikom 18. Ona predstavlja postupak koji je uzročno povezan ulazom i izlazom te mora omogućiti provođenje tehničkog procesa. Ukupnu funkciju tramvajskog pretvarača možemo opisati kao aktivnost kojom se iz istosmjerne struje dobiva trofazna izmjenična struja promjenjivog napona i frekvencije. Dobivenom izlaznom strujom napaja se pogonski motor u cilju postizanja željenog momenta. Na drugoj funkcijskoj razini se definira funkcijska struktura tehničkog sustava izražena preko određenog broja parcijalnih funkcija (PS). Dekompozicijom se funkcijska struktura tramvajskog pretvarača razlaže na parcijalne funkcije koje se odnose na tijek materijala, energije i signala. Ukupna se funkcija sastoji od više složenih parcijalnih funkcija koje same egzistiraju kao parcijalni sustavi (PS), a logička povezanost ovih podsustava daje funkcijsku strukturu tehničkog sustava. Tramvajski pretvarač je vezan s okolinom ulazima i izlazima. Ulazi u njega su: električna energija iz mreže, električna energija iz akumulatorske baterije, električne mreže 3x400V (50Hz) i ulaz zraka. Izlazi su transformirana električna energija, toplinska energija, mehanička energija i zagrijana struja zraka. Upravljanje i mjerenje predstavlja kontrolu aktivnosti.

Iz funkcijske strukture tramvajskog pretvarača vidljivo je da se ona sastoji od devet parcijalnih sustava (PS):

- Priključivanje pretvarača na napajanje i punjenje kondenzatora (PS1).
- Vraćanje energije (PS21).
- Filtriranje (PS2).
- Kontrola energije kočenja (PS22).
- Istosmjerno – izmjenična pretvorba (PS3).
- Upravljanje i izvršnim članovima (PS4).
- Kontrola postojanja napona (PS23).
- Hlađenje (PS5).
- Kućište pretvarača (PS6).

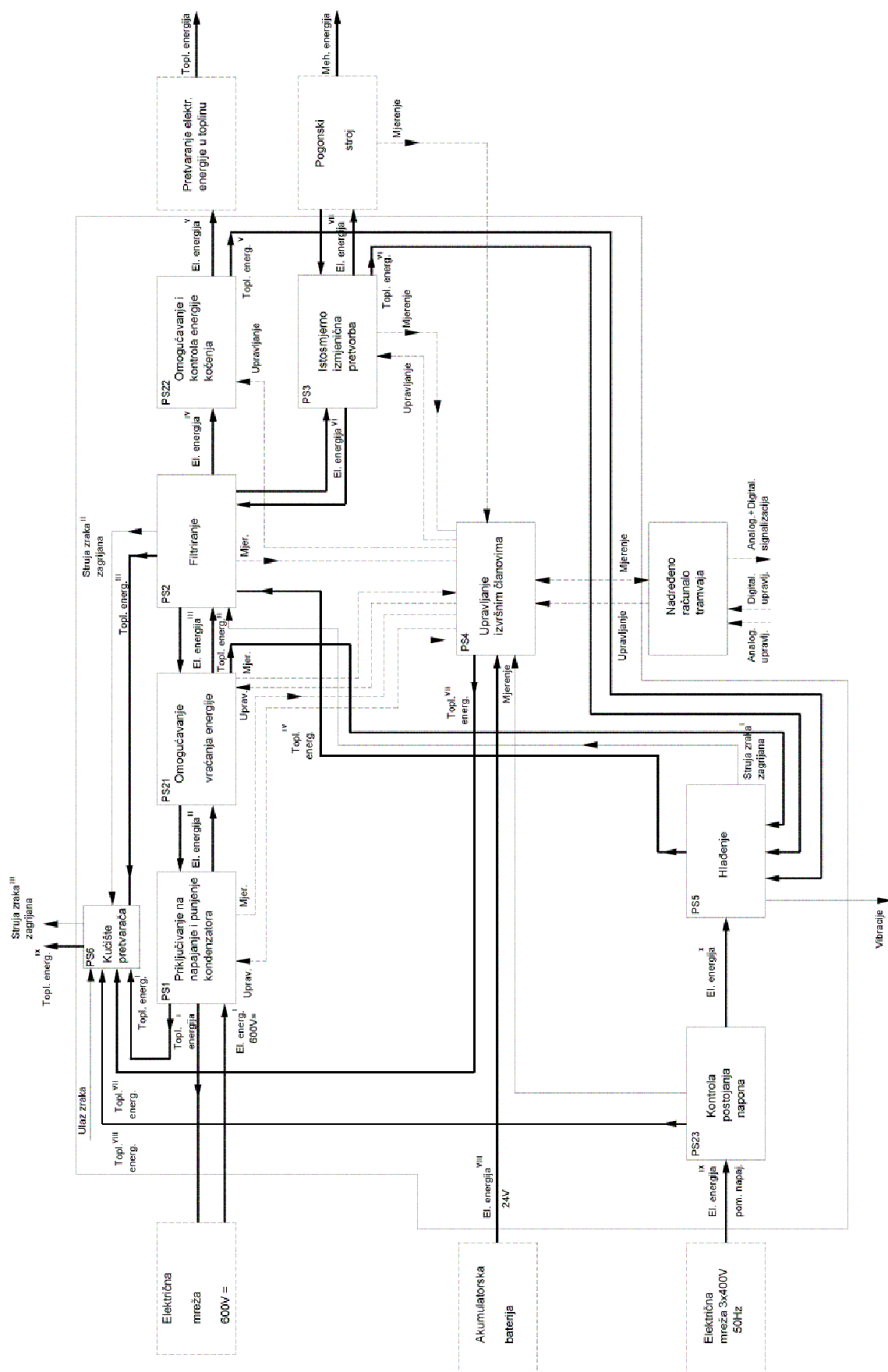
Funkcijske strukture parcijalnih sustava (PS) prikazane su slikama. Razradom i analizom podsustava omogućeno je pronalaženje više varijanti rješenja. Za svaku parcijalnu funkciju može se pronaći nekoliko principa rješenja. Ovi principi rješenja kombiniranjem daju konceptijske varijante. Svaka konceptijska varijanta mora moći realizirati ukupnu funkciju. Parcijalne sustave u tramvajskom pretvaraču s obzirom na funkciju možemo podijeliti na električne i strojarske. Električni parcijalni sustavi u sebi kao glavnu aktivnost imaju pretvorbu električne energije uz nastajanje topline. Srojarski parcijalni sustavi imaju kao glavnu aktivnost pretvorbu jednog oblika

energije u drugi uz postizanje optimalne temperature kritičnih elektroničkih komponenata (PS5), odnosno osiguranja krutosti i nošenja opreme, uz filtriranje zraka i odvođenje topline (PS6). S konstrukcijskog gledišta najznačajniji i najsloženiji parcijalni sustav je kućište. Ono u sebi objedinjuje najviše aktivnosti koje su vrlo važne za funkcionalnost tramvajskog pretvarača.

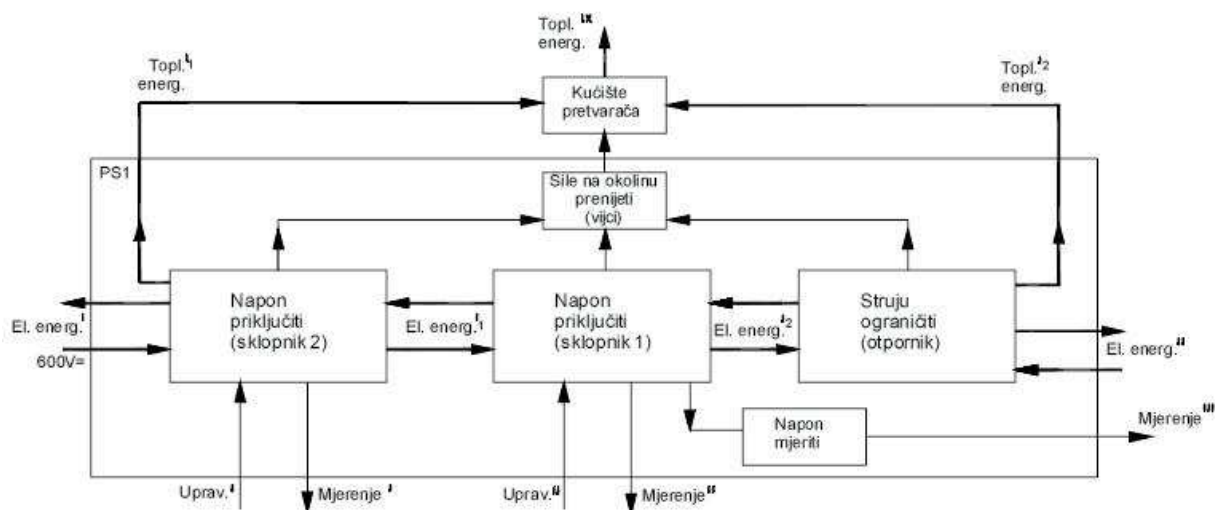
Parcijalni podsustavi PS1, PS2, PS21, PS22 i PS3 predstavljaju energetske sklopove koji obrađuju karakteristike električne energije uz što manje gubitaka koje se projektiranjem i konstrukcijom nastoji smanjiti.

Funkcije pojedinih parcijalnih sustava su:

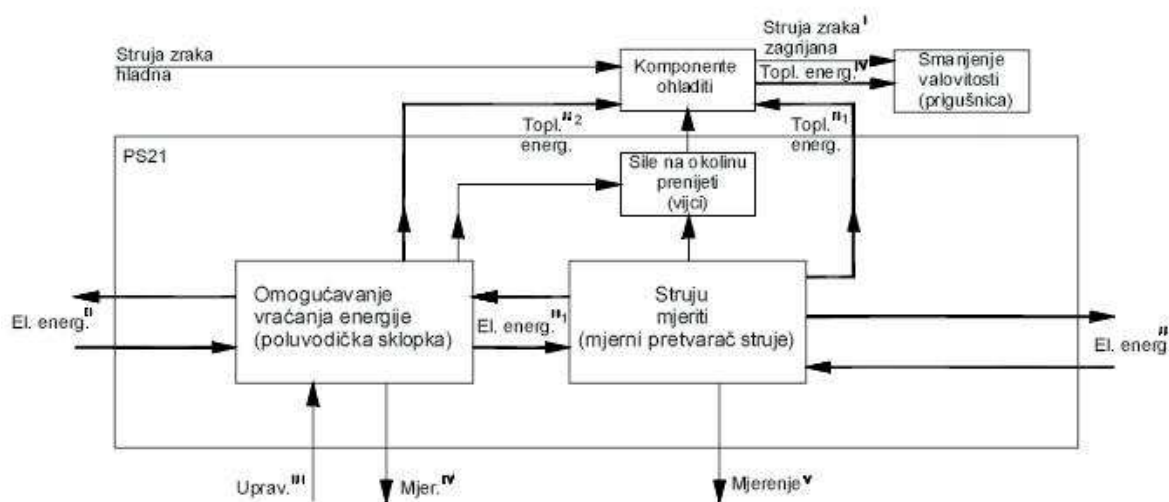
- PS1 – omogućava ili zatvara prolaz električne energije uz ograničenje struje i pojavu topline. U podsustavu dolazi do pretvorbe ulazne u izlaznu električnu energiju. Pri odvijanju aktivnosti prisutno je upravljanje i mjerenje. Parcijalni podsustav PS1 je prikazan slikom 19.
- PS21 – omogućava prolaz električne energije uz kontrolirani povrat u napojnu mrežu i uz pojavu topline. U podsustavu dolazi do pretvorbe ulazne u izlaznu električnu energiju. Pri odvijanju aktivnosti prisutno je upravljanje i mjerenje. Parcijalni podsustav PS21 je prikazan slikom 20.
- PS2 – omogućava prolaz električne energije u oba smjera bez upravljanja, uz pojavu topline. U podsustavu dolazi do pretvorbe ulazne u izlaznu električnu energiju. Pri odvijanju aktivnosti prisutno je mjerenje. Parcijalni podsustav PS2 je prikazan slikom 21.
- PS22 – omogućava prolaz električne energije samo u jednom smjeru uz pojavu topline. U podsustavu dolazi do pretvorbe ulazne u izlaznu električnu energiju. Pri odvijanju aktivnosti prisutno je upravljanje i mjerenje. Parcijalni podsustav PS22 je prikazan slikom 22.
- PS3 – omogućava prolaz električne energije u oba smjera uz pojavu topline. U podsustavu dolazi do pretvorbe ulazne u izlaznu električnu energiju pri čemu se mijenja napon i frekvencija. Pri odvijanju aktivnosti prisutno je upravljanje i mjerenje. Parcijalni podsustav PS3 je prikazan slikom 23.
- PS4 – obrađuje informacije, uz nastajanje toplinske energije. Da bi se to moglo odvijati, u ulazu dobiva naloge na temelju kojih upravlja izlazima. Parcijalni podsustav PS4 je prikazan slikom 24.
- PS23 – omogućava prolaz električne energije samo u jednom smjeru uz pojavu topline. U podsustavu dolazi do pretvorbe ulazne u izlaznu električnu energiju. Pri odvijanju aktivnosti prisutno je mjerenje. Parcijalni podsustav PS23 je prikazan slikom 25.
- PS5 – omogućava hlađenje komponenata tramvajskog pretvarača strujom zraka uz pretvorbu ulazne električne energije u izlaznu toplinsku energiju. Nastala toplinska energija se predaje struji zraka i s njom izlazi iz pretvarača. Pri odvijanju aktivnosti prisutno je mjerenje temperature. Parcijalni podsustav PS5 je prikazan slikom 26.
- PS6 – omogućava krutost konstrukcije i nošenje opreme, prigušenje vibracija, filtriranje ulaznog zraka, odvođenje topline, pristup komponentama i zaštitu od sunca. Pri odvijanju aktivnosti dolazi do prijelaza energije iz jednog oblika u drugi (npr. energija viših frekvencija prelazi u željene forme vibriranja ili vanjska energija ulaza prelazi u vanjsku energiju izlaza). Parcijalni podsustav PS6 je prikazan slikom 27.



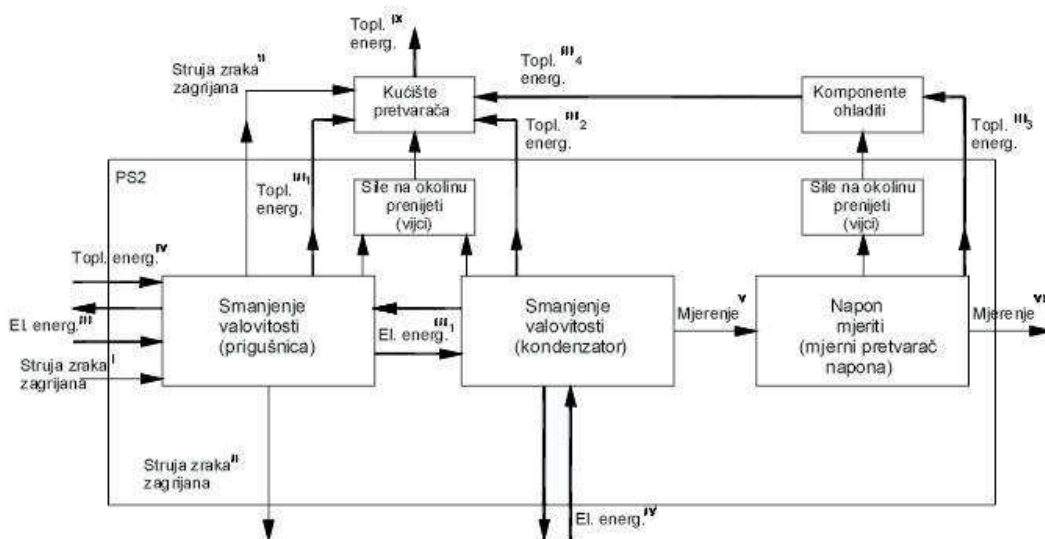
Slika 18: Funkcijska struktura tramvajskog pretvarača



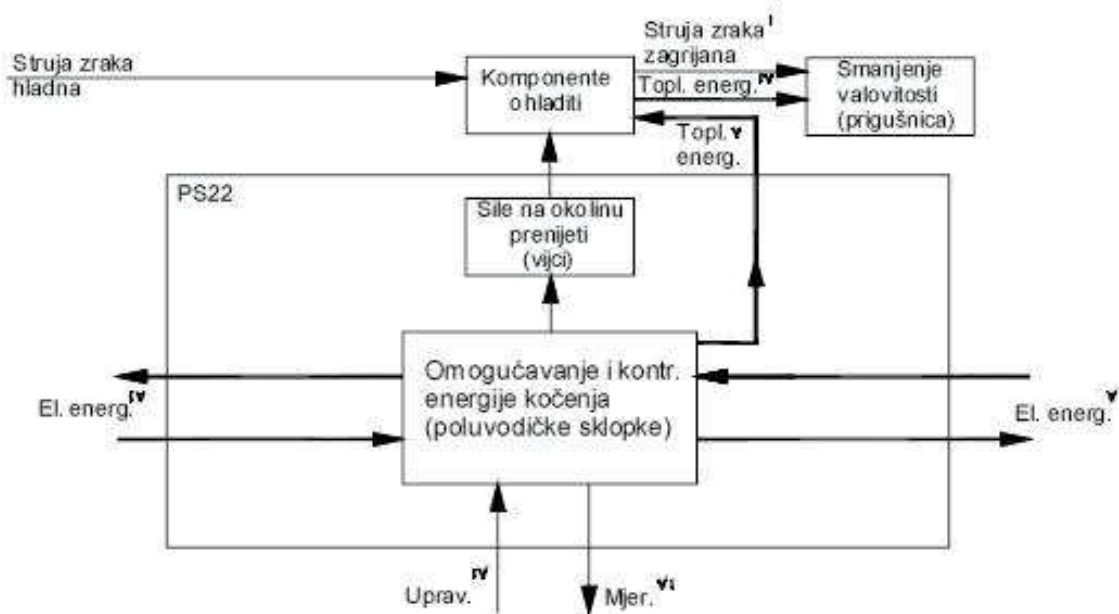
Slika 19: Parcijalni podsustav PS1



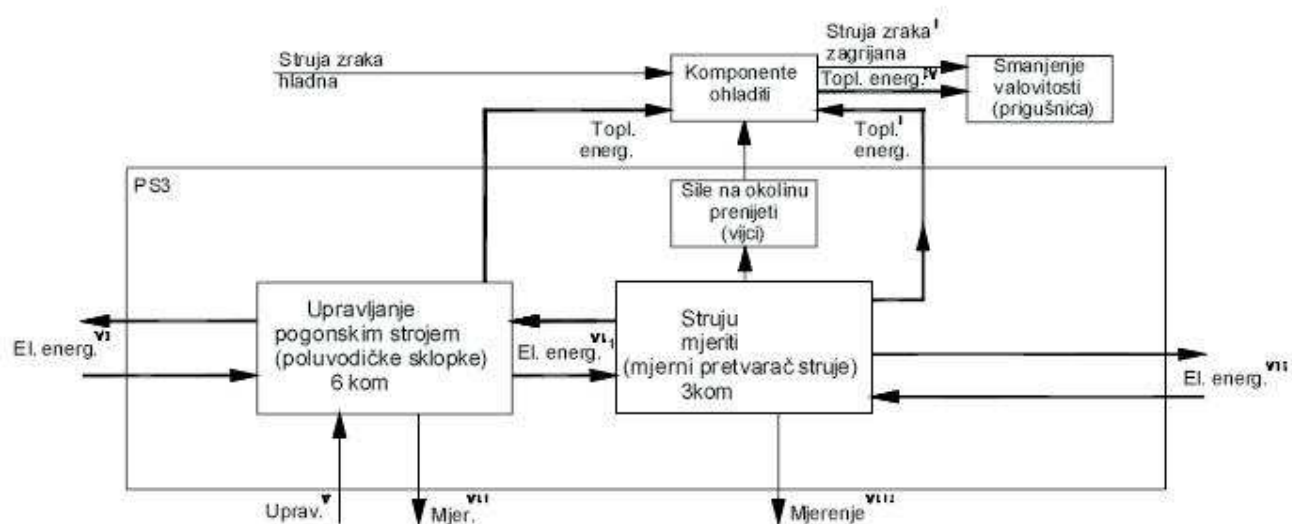
Slika 20: Parcijalni podsustav PS21



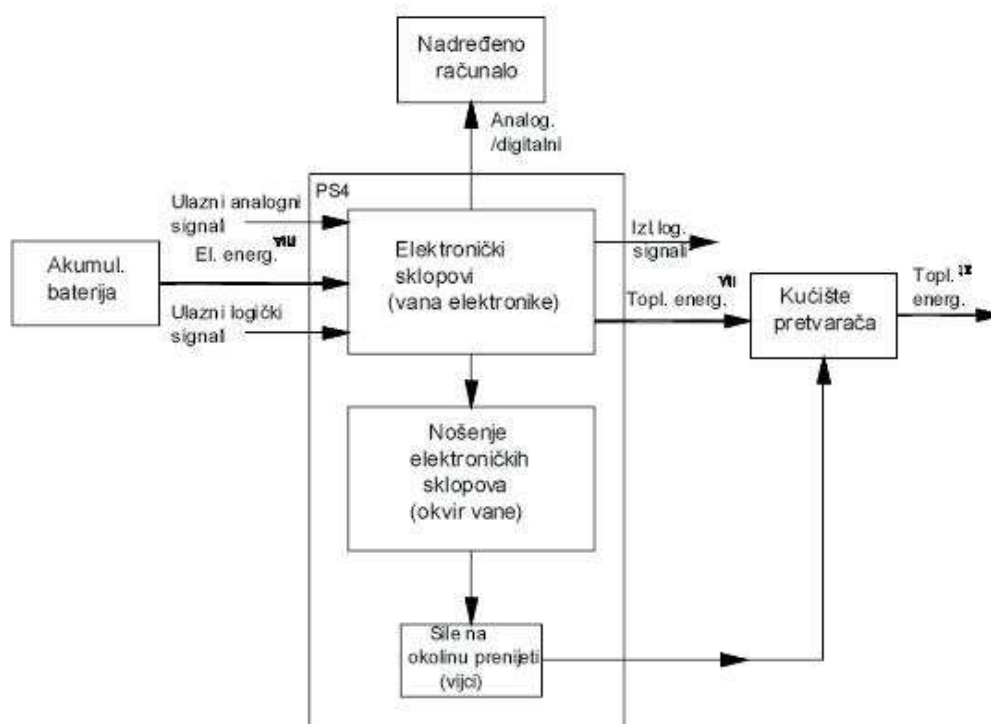
Slika 21: Parcijalni podsustav PS2



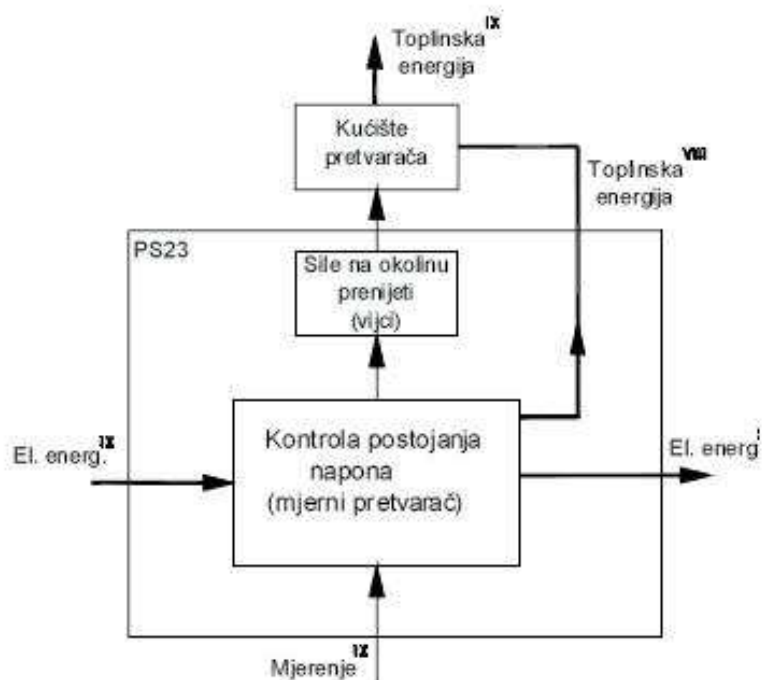
Slika 22: Parcijalni podsustav PS22



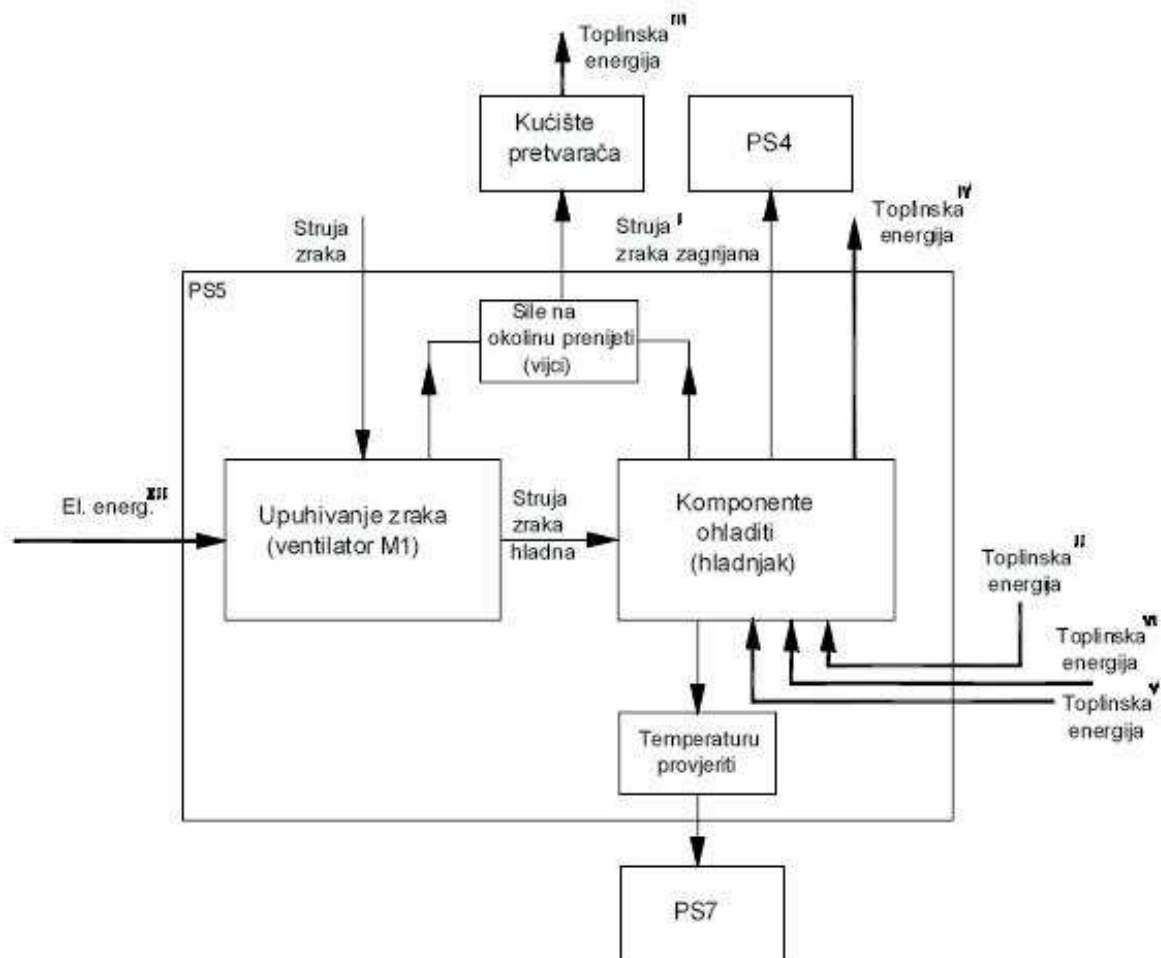
Slika 23: Parcijalni podsustav PS3



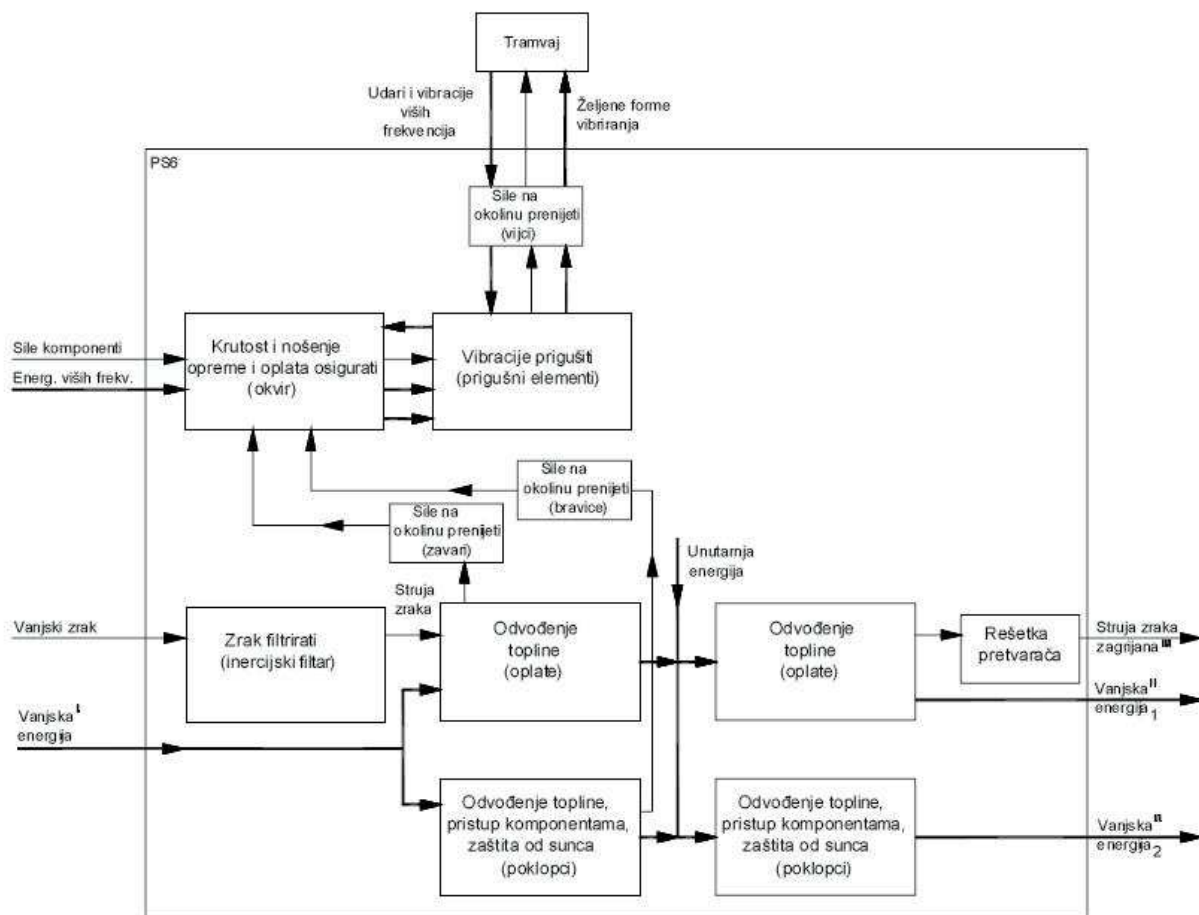
Slika 24: Parcijalni podsustav PS4



Slika 25: Parcijalni podsustav PS23



Slika 26: Parcijalni podsustav PS5



Slika 27: Parcijalni podsustav PS6

5. Informacijsko modeliranje pretvarača korištenjem SysML jezika

Nakon što su u prva tri poglavlja prikazane značajke SysML jezika te predstavljena analiza zahtjeva i funkcija pretvarača, potrebno je sukladno zadatku ovog rada rezultate analize prikazati u obliku SysML dijagrama. Navedene značajke pretvarač električnih veličina prikazati će se pomoću četiri dijagrama koji predstavljaju osnovu SysML informacijskog modela:

- dijagram strukture,
- dijagram ponašanja,
- dijagram zahtjeva,
- parametarskih dijagram.

Dijagrami ponašanja i parametarski dijagrami su zbog kompleksnosti proizvoda prikazani samo na pojedinim primjerima, dok su dijagram zahtjeva i strukture prikazani u potpunosti.

Postoji nekoliko vrsta veza koje su se koristile u izradi dijagrama zahtjeva:

- „*Containment*“ – veza koja govori o vezi roditelj/dijete, tj. što je generalni, a što izvedeni zahtjev,
- „*DeriveReq*“ – derivirani tj. izvedeni zahtjev,
- „*Satisfy*“ – veza između zahtjeva i elementa koji ispunjava taj zahtjev. [5]

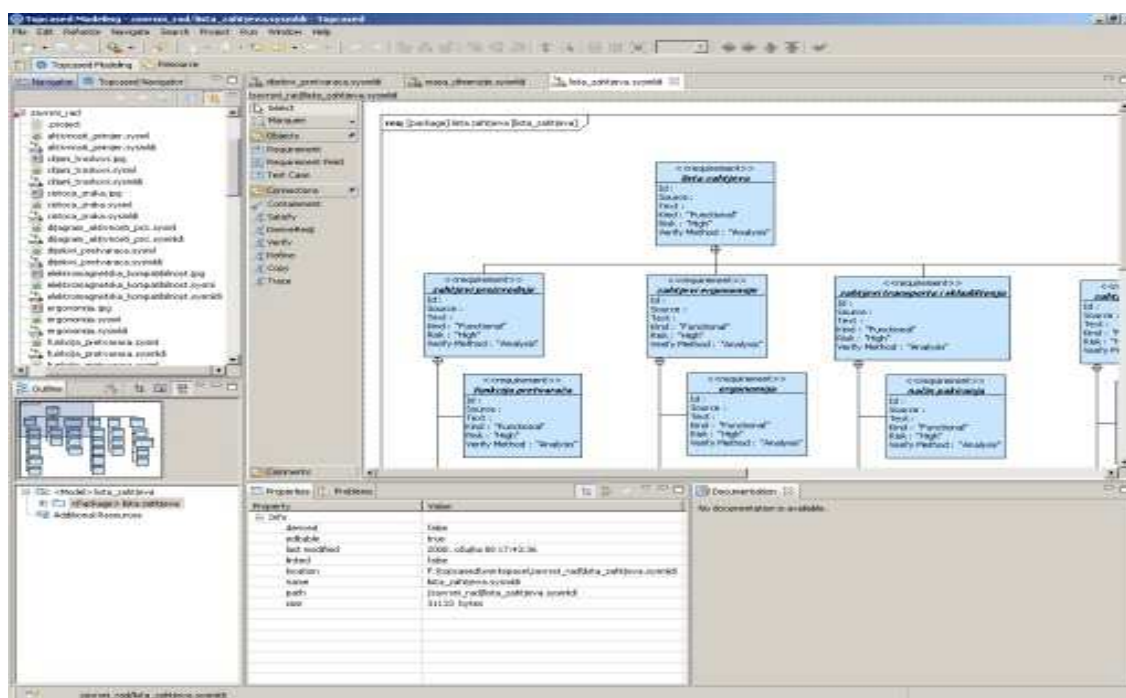
U izradi dijagrama strukture, koristila se veza „*Containment*“ koja je prikazala *is-a* strukturu te *part-of* strukturu. *Is-a* veza je korištena kako bi se prikazala pripadnost različitih podfunkcija sustava različitim vrstama funkcija – radnim ili pomoćnim. *Part-of* veza je korištena kako bi se prikazala pripadnost pojedine funkcije različitim dijelovima. Također, kod izrada dijagrama strukture, korištena je *realization* veza koja govori kako se pojedina funkcija realizira pomoću pojedine komponente.

U izradi dijagrama ponašanja, korištena je veza „*Object flow*“, koja prikazuje tok od ulaza do izlaza.

U izradi parametarskog dijagrama, korištena je veza „*Dependency*“, koja pokazuje ovisnost jednog elementa o drugome.

5.1 Računalni alat (softver)

Među nekoliko alata koji pružaju mogućnost modeliranja SysML dijagrama, odabrano je Topcased radno okruženje. Glavni razlog za odabir ovog alata jest njegova cijena – u odnosu na većinu ostalih dostupnih alata, Topcased okruženje je besplatno te omogućava kreiranje svih dijagrama koji su potrebni kako bi se kreirali SysML modeli pretvarača. Radna okolina Topcased okruženja je prikazana na slici 28.



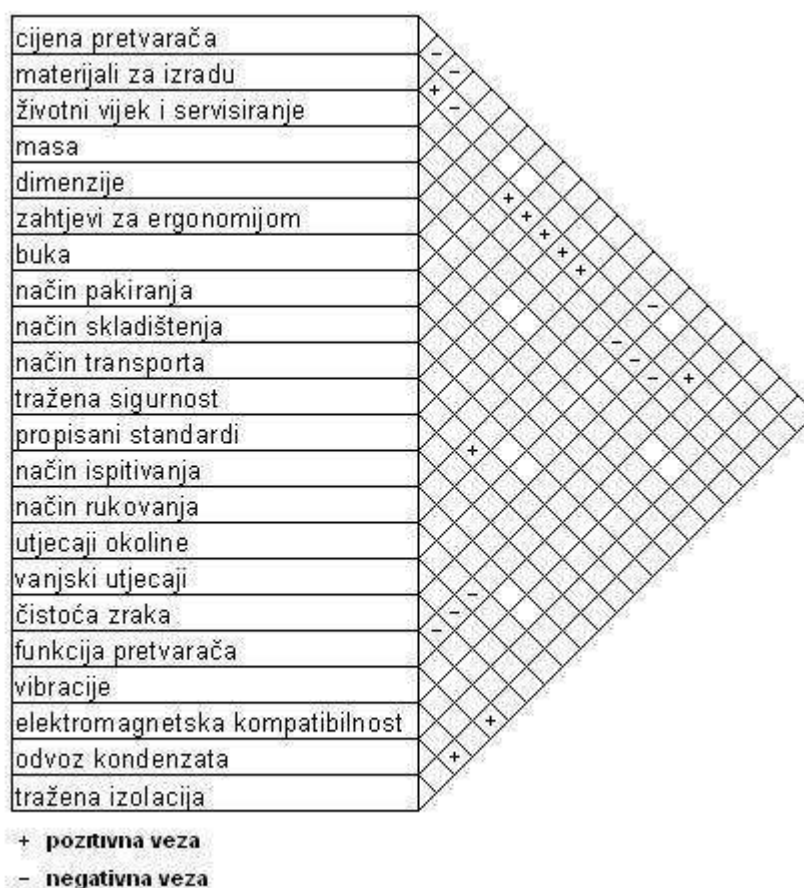
Slika 28: Topcased okruženje

5.2 Dijagrami zahtjeva

Dijagrami zahtjeva su kreirani na temelju tehničke specifikacije koja sadrži listu zahtjeva koje pretvarač treba ispuniti. Međusobni odnosi među zahtjevima prikazani su slikom 29., dok je lista zahtjeva prikazana pomoću SysML-a prikazana na slici 30. Slika 30. ujedno predstavlja klasifikaciju zahtjeva obzirom na različite aspekte uključivo i faze životnog ciklusa pretvarača. Na temelju tehničke specifikacije, zahtjevi koje pretvarač mora ispuniti su klasificirani u šest osnovnih vrsta:

- zahtjevi proizvodnje,
- zahtjevi ergonomije,
- zahtjevi transporta i skladištenja,
- zahtjevi sigurnosti,
- zahtjevi okoliša,
- zahtjevi funkcionalnosti.

Svaki od tih zahtjeva sadrži podzahtjeve koje pretvarač mora ispuniti, a koji su prikazani na daljnjim slikama.



Slika 29: Veze između zahtjeva

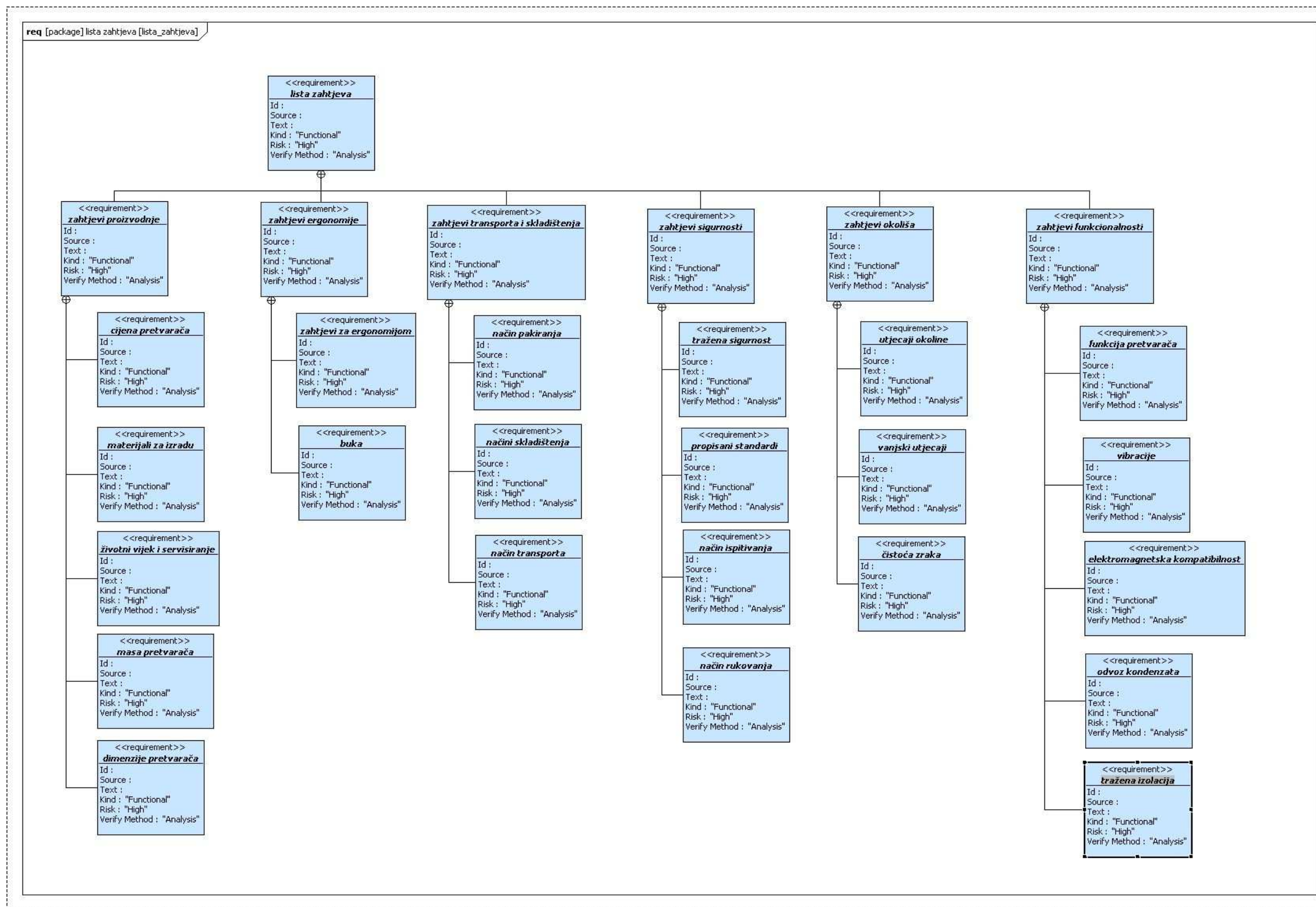
Materijali za izradu negativno utječu na cijenu pretvarača i masu – korištenjem kvalitetnijih materijala povećavamo cijenu pretvarača, dok zbog dominantnosti čelika kao glavnog konstrukcijskog materijala, masa pretvarača je veća. Zbog toga što se trenutno ne vodi briga o reciklaži, materijali za izradu imaju negativan utjecaj na okolinu. Sa druge strane, materijali za izradu pozitivno utječu na životni vijek i servisiranje, ukoliko se koriste kvalitetniji materijali koje su manje podložni atmosferskim utjecajima, trošenju itd.

Na životni vijek i servisiranje pozitivno utječu način pakiranja, način transporta, tražena sigurnost i propisani standardi, jer ukoliko se pridržava tih zahtjeva, produžava se životni vijek pretvarača. Životni vijek pretvarača pozitivno utječe na funkciju pretvarača, jer sa povećanjem životnog vijeka pretvarač duže obavlja svoju funkciju.

Način rukovanja pozitivno utječe na traženu sigurnost, jer ukoliko se rukuje pretvaračem na odgovarajući način, moguće je izbjeći različite nezgode i sl.

Uticaji okoline, vanjski utjecaji te čistoća zraka negativno utječu na funkciju pretvarača te njegov životni vijek, jer ukoliko se ne osiguraju odgovarajući uvjeti, smanjuje se životni vijek te postoji mogućnost da pretvarač ne bude u mogućnosti izvršiti svoju osnovnu funkciju.

Postizanjem tražene izolacije, omogućava se elektromagnetska kompatibilnost te se osigurava ostvarivanje funkcije pretvarača.

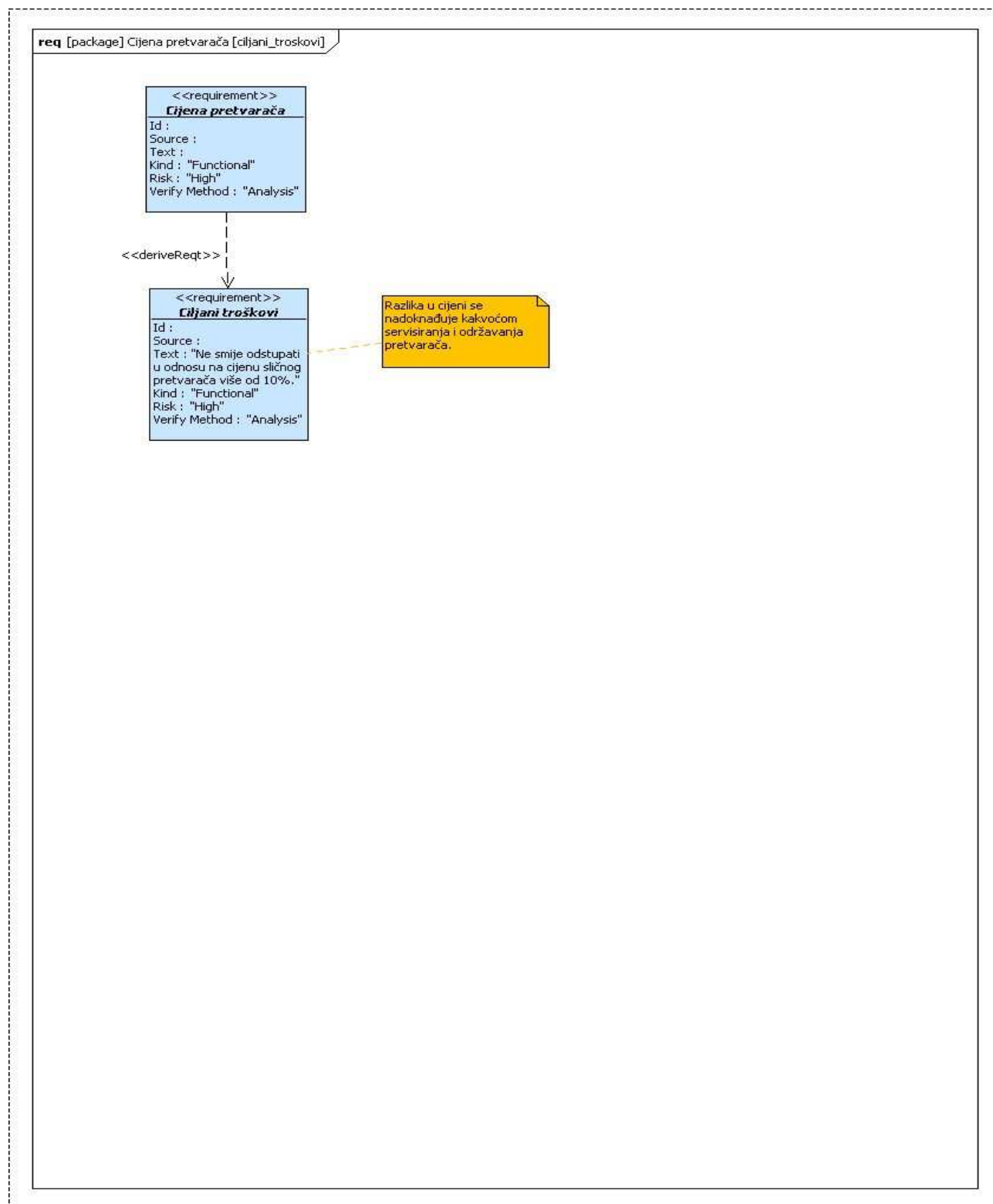


Slika 30: Lista zahtjeva definirana u SysML-u

5.2.1 Zahtjevi proizvodnje

5.2.1.1 Cijena pretvarača

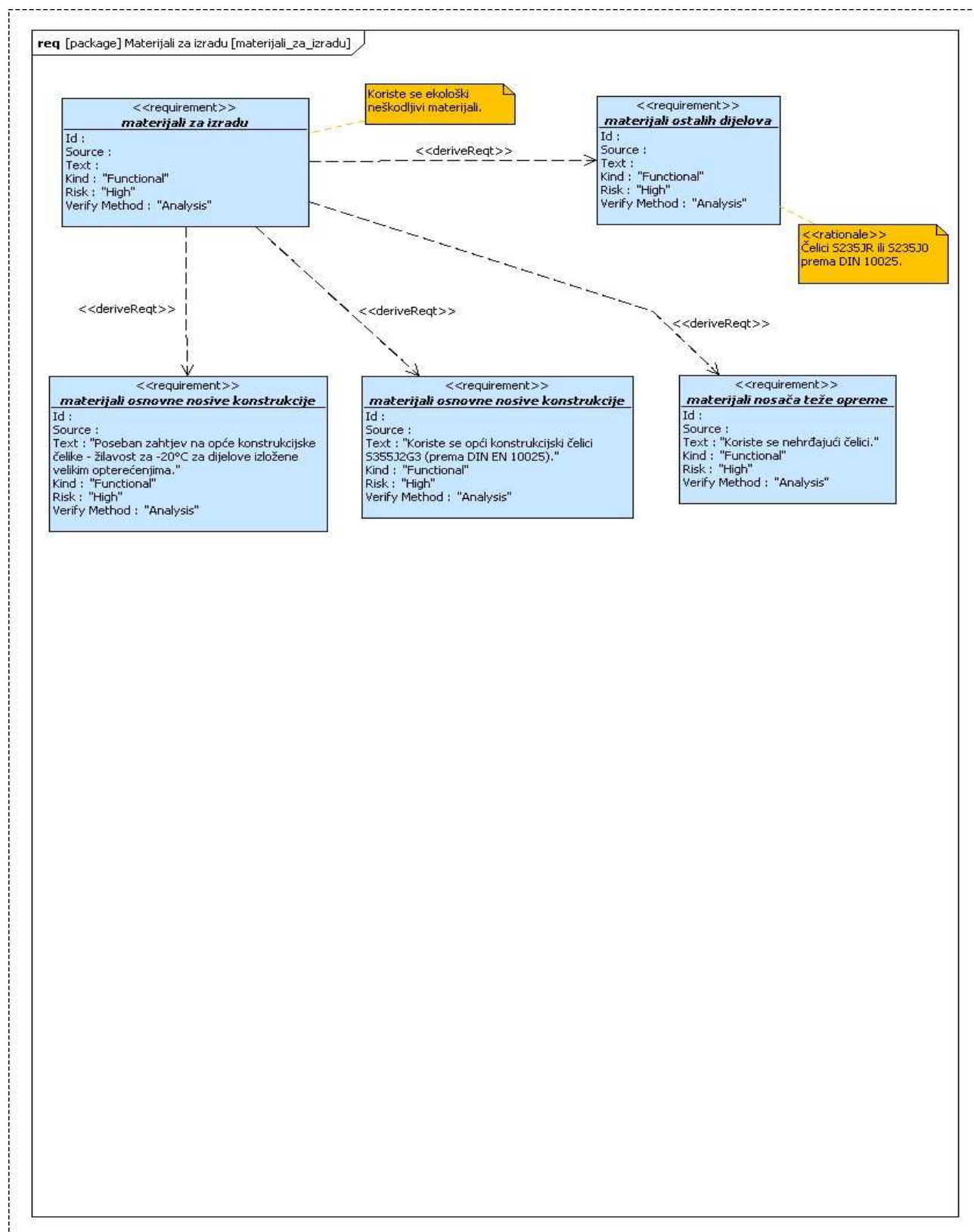
Na slici 31. detaljno je prikazan dijagram zahtjeva kojim je definirana cijena pretvarača.



Slika 31: Dijagram zahtjeva - cijena pretvarača

5.2.1.2 Materijali za izradu

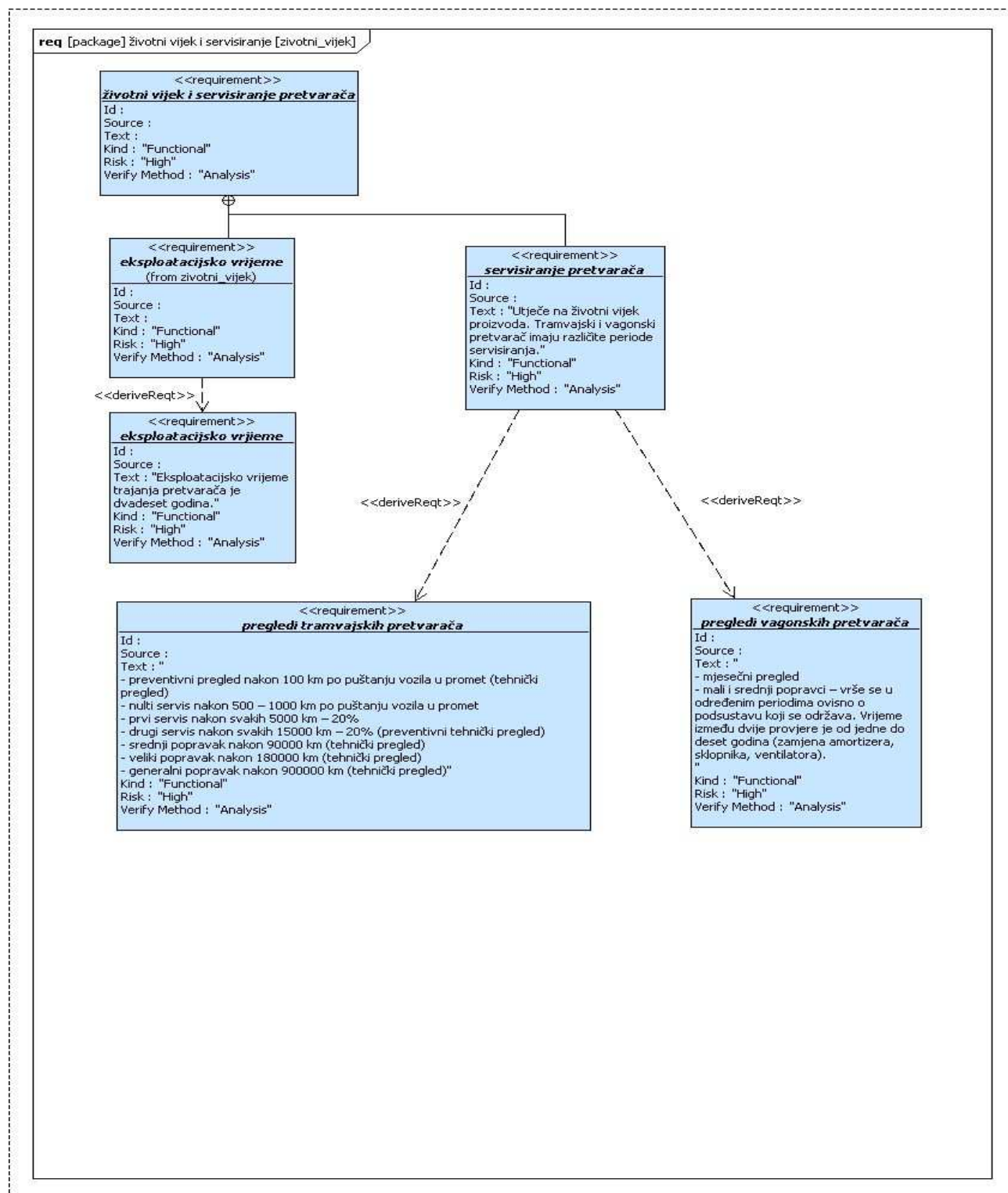
Zahtjevi vezani uz materijale koji se koriste za izradu pretvarača prikazani su na slici 32.



Slika 32: Dijagram zahtjeva - materijali koji se koriste za izradu pretvarača

5.2.1.3 Životni vijek i servisiranje

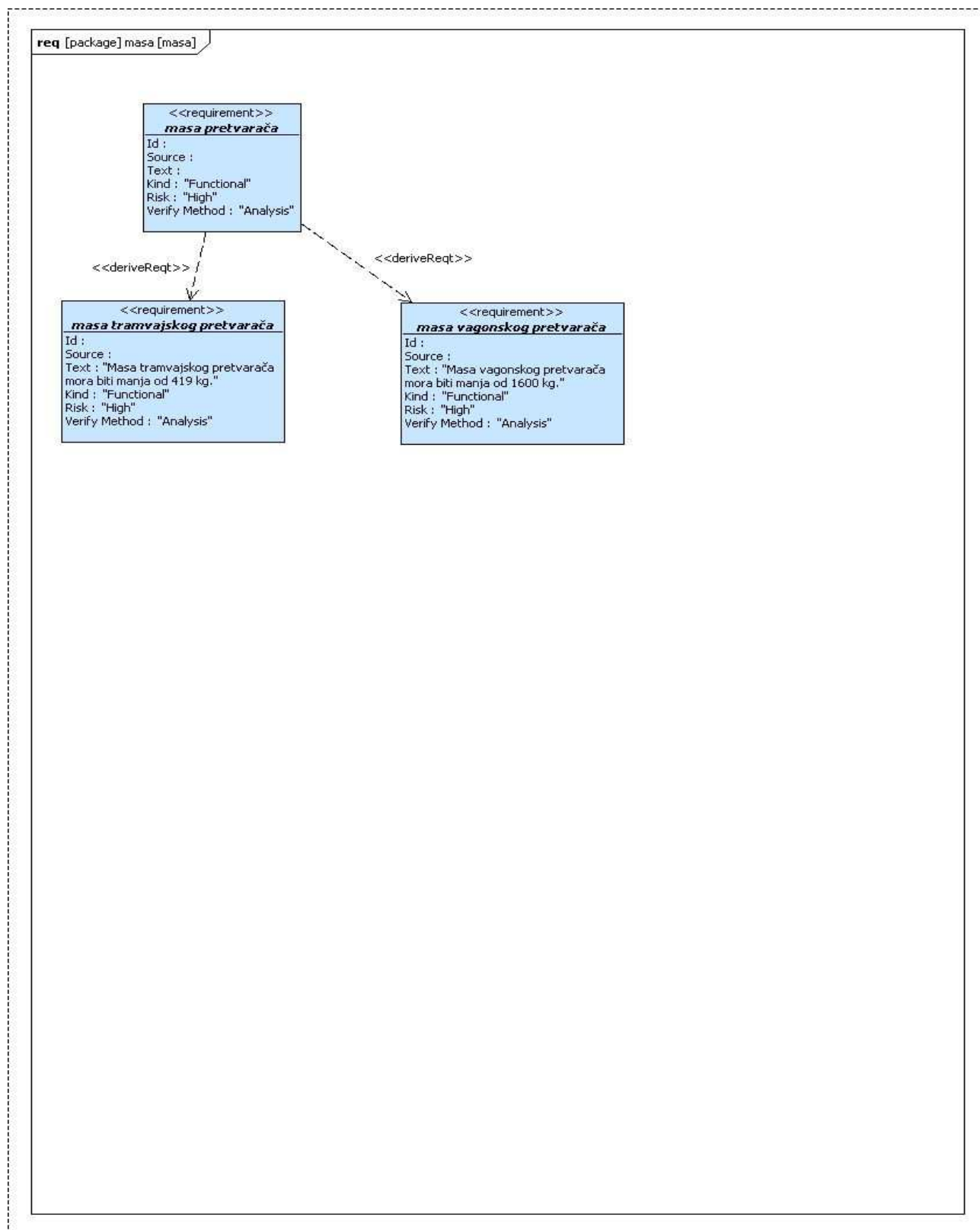
Već je ranije spomenuto kako na životni vijek pretvarača uvelike utječe servisiranje. Kako bi se životni ciklus pretvarača što više produžio, nužno je organizirati fleksibilnu službu održavanja koristeći blizinu glavnih kupaca i povećanjem vremena između kontrolnih pregleda. Dijagram zahtjeva koji proizlaze iz faze korištenja i servisiranje je prikazan na slici 33.



Slika 33: Dijagram zahtjeva - životni vijek i servisiranje

5.2.1.4 Masa pretvarača

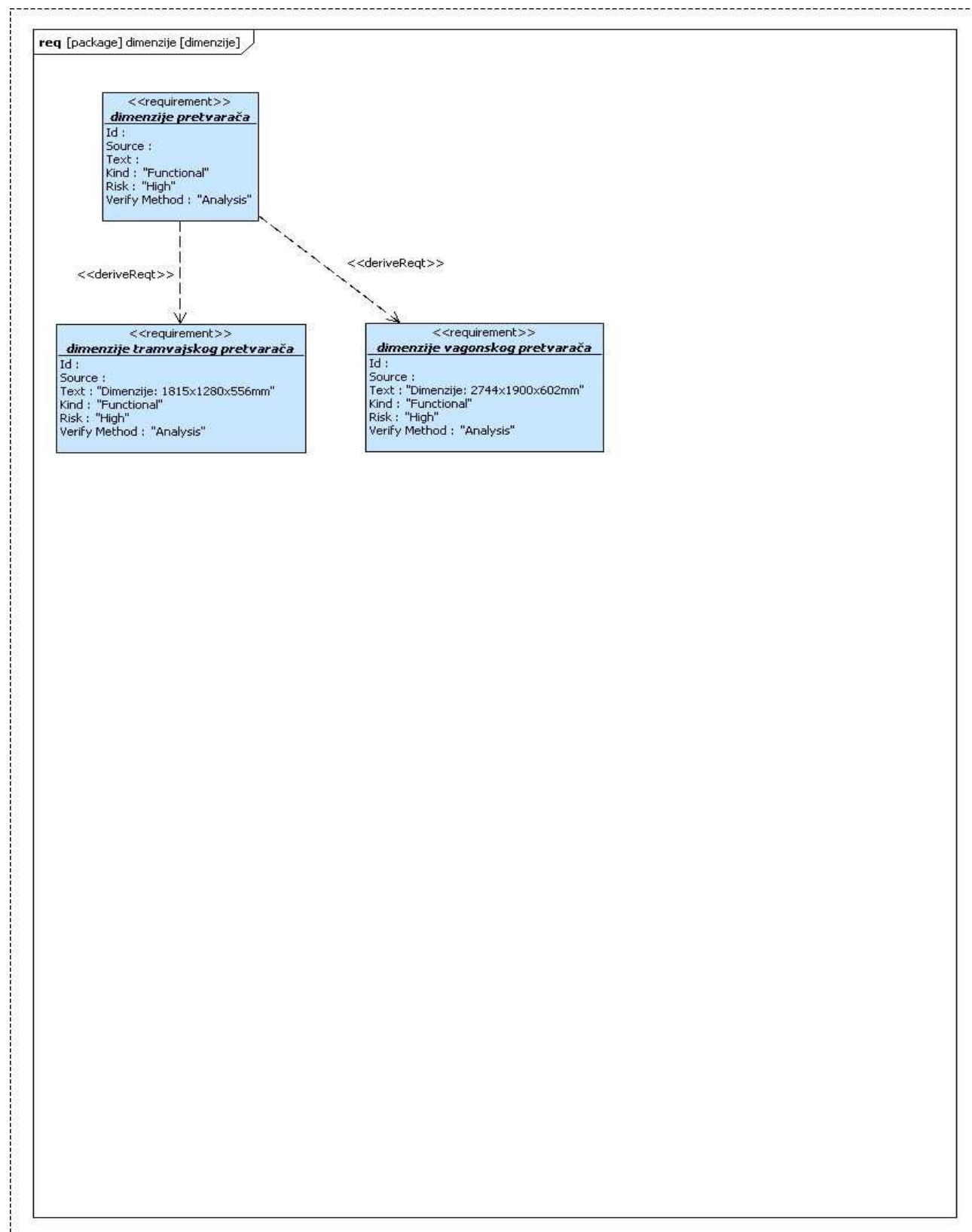
Masa je glavni uvjet pri projektiranju pretvarača – kupac definira najveću masu koju proizvod smije imati. Dijagram zahtjeva kojima su definirane mase je prikazan na slici 34.



Slika 34: Dijagram zahtjeva - masa pretvarača

5.2.1.5 Dimenzije pretvarača

Dimenzije pretvarača su također veoma bitne, te je potrebno proizvod izraditi unutar traženih gabarita. Dijagram zahtjeva kojima su definirane mase je prikazan na slici 35.

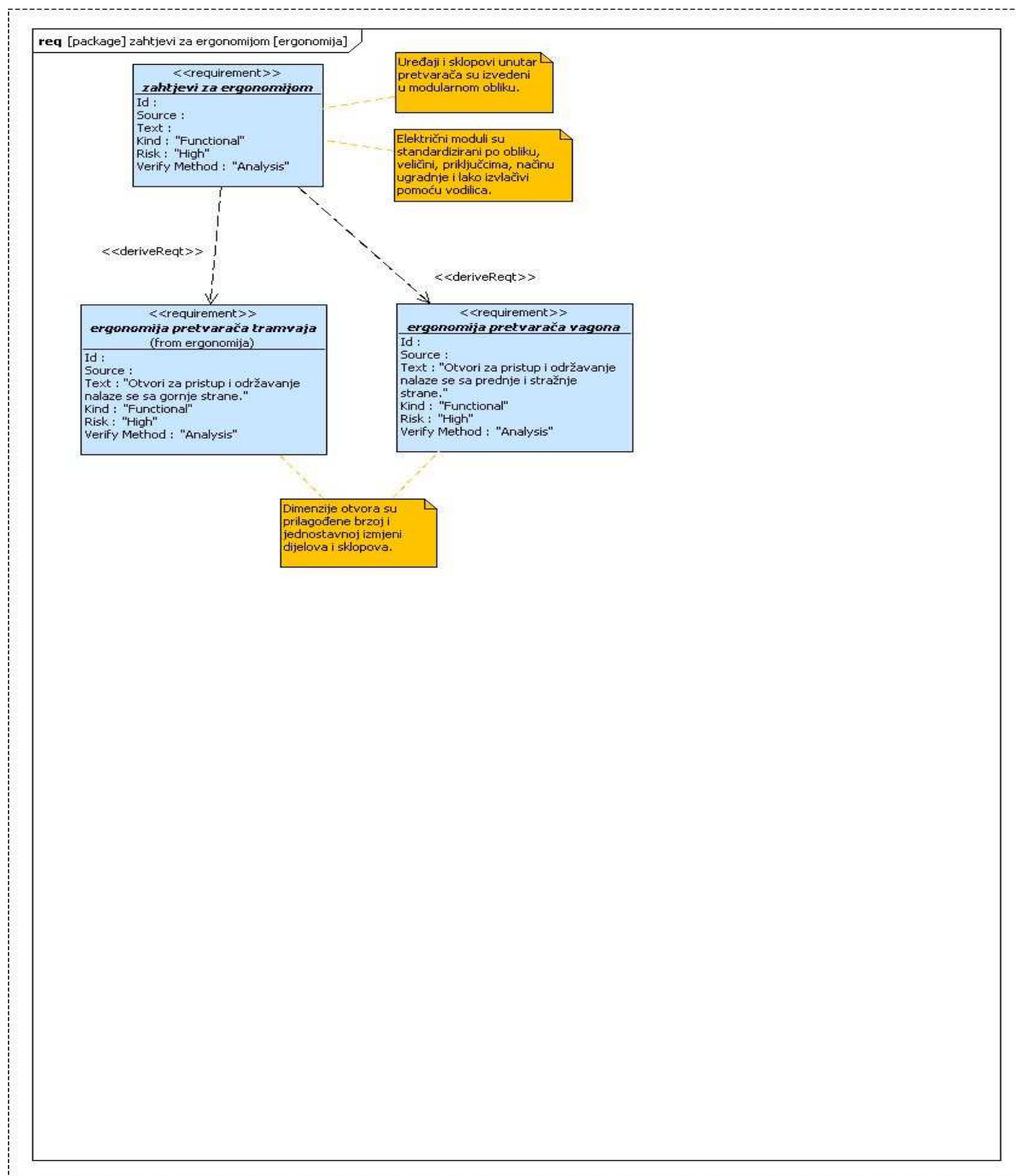


Slika 35: Dijagram zahtjeva - dimenzije pretvarača

5.2.2 Zahtjevi ergonomije

5.2.2.1 Zahtjevi za ergonomijom

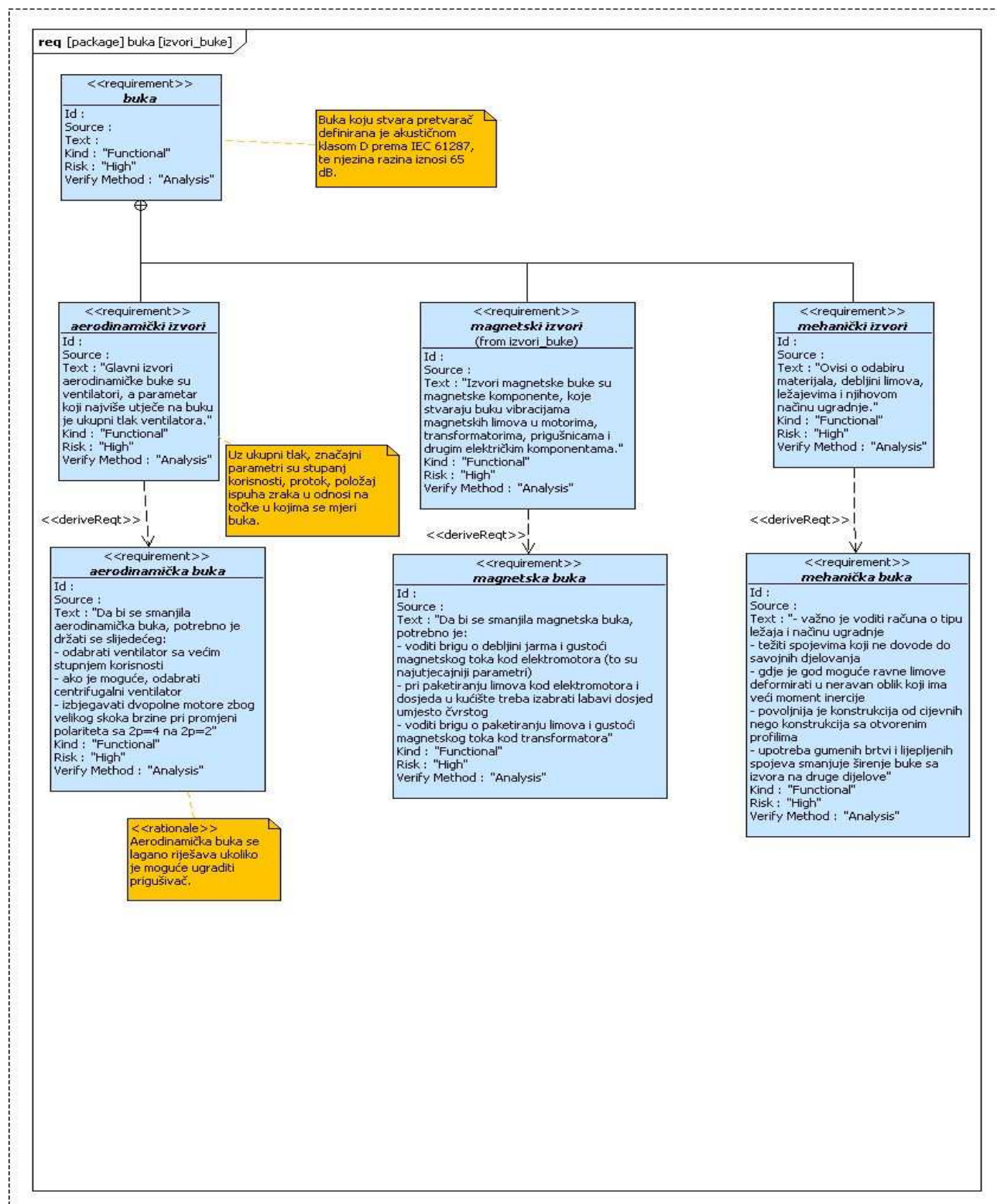
Već je ranije spomenuto kako se kod zahtjeva ergonomije misli prvenstveno na to što pretvarač mora ispuniti u smislu rukovanja, te je rečeno kako je temeljni zahtjev ergonomije njegova jednostavnost tj. mora se osigurati što jednostavnija ugradnja te omogućiti što jednostavnije održavanje pretvarača. Način kojim su definirani zahtjevi za ergonomiju prikazan je slikom 36.



Slika 36: Dijagram zahtjeva – ergonomija

5.2.2.2 Buka

Buka u pretvaraču je također veoma bitan faktor – prevelika količina buke može u konačnici dovesti do oštećenja sluha, a također može ostaviti negativan dojam među korisnicima. Dijagram zahtjeva kojime se definira dozvoljena razina buke prikazan je slikom 37.

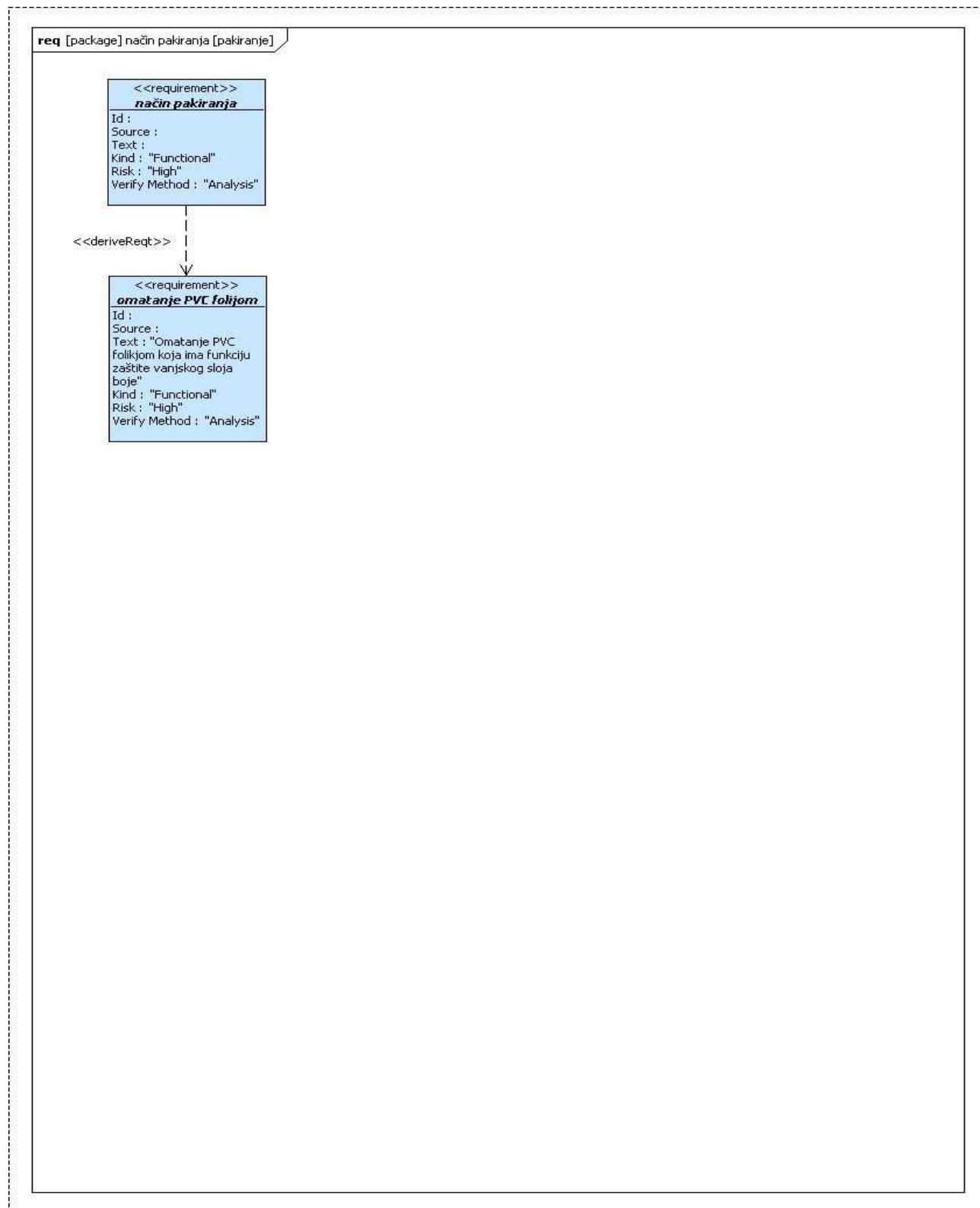


Slika 37: Dijagram zahtjeva – buka unutar pretvarača

5.2.3 Zahtjevi skladištenja i transporta

5.2.3.1 Način pakiranja

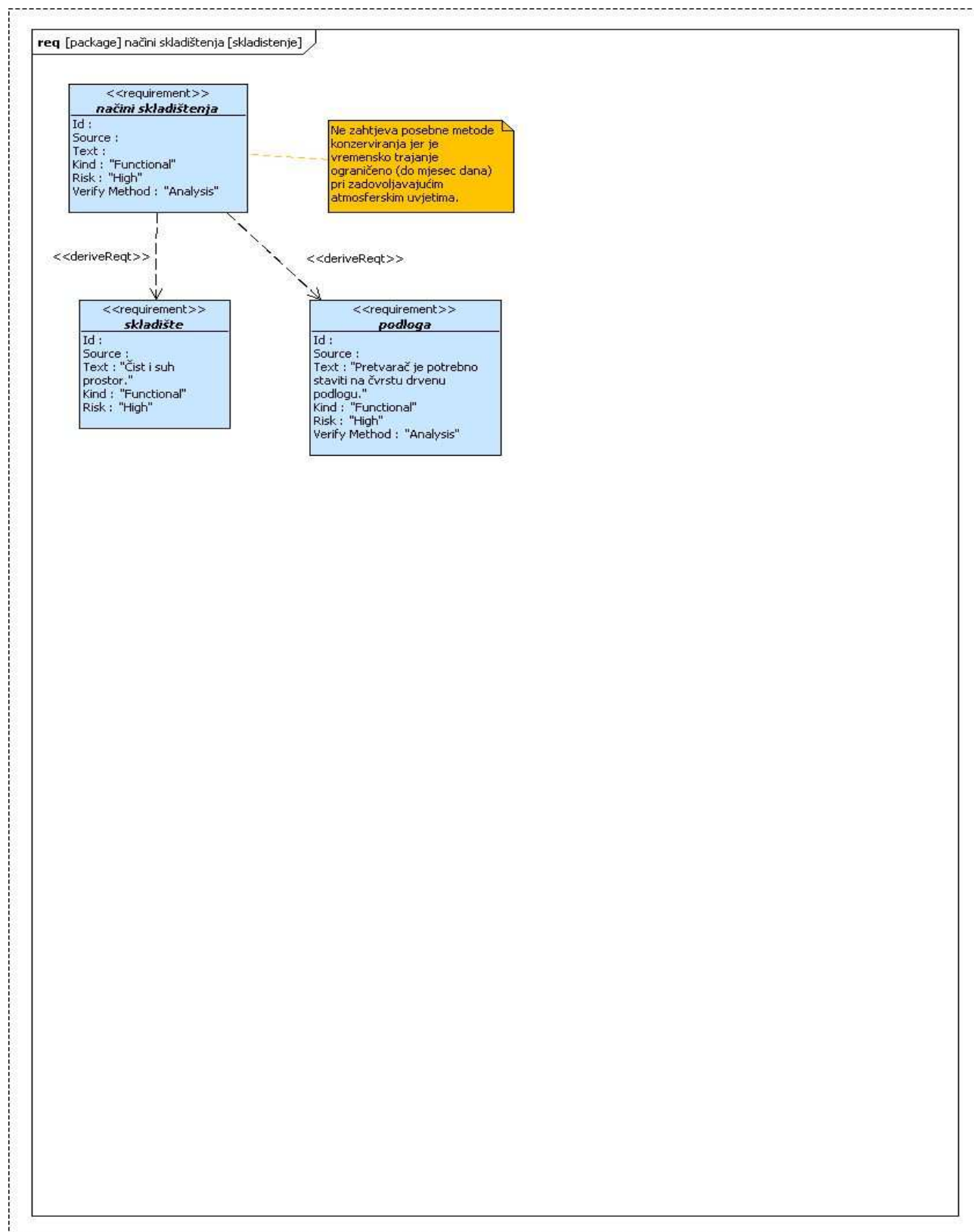
Dijagram zahtjeva kojime se definira način pakiranja je prikazan slikom 38.



Slika 38: Dijagram zahtjeva - način pakiranja

5.2.3.2 Načini skladištenja

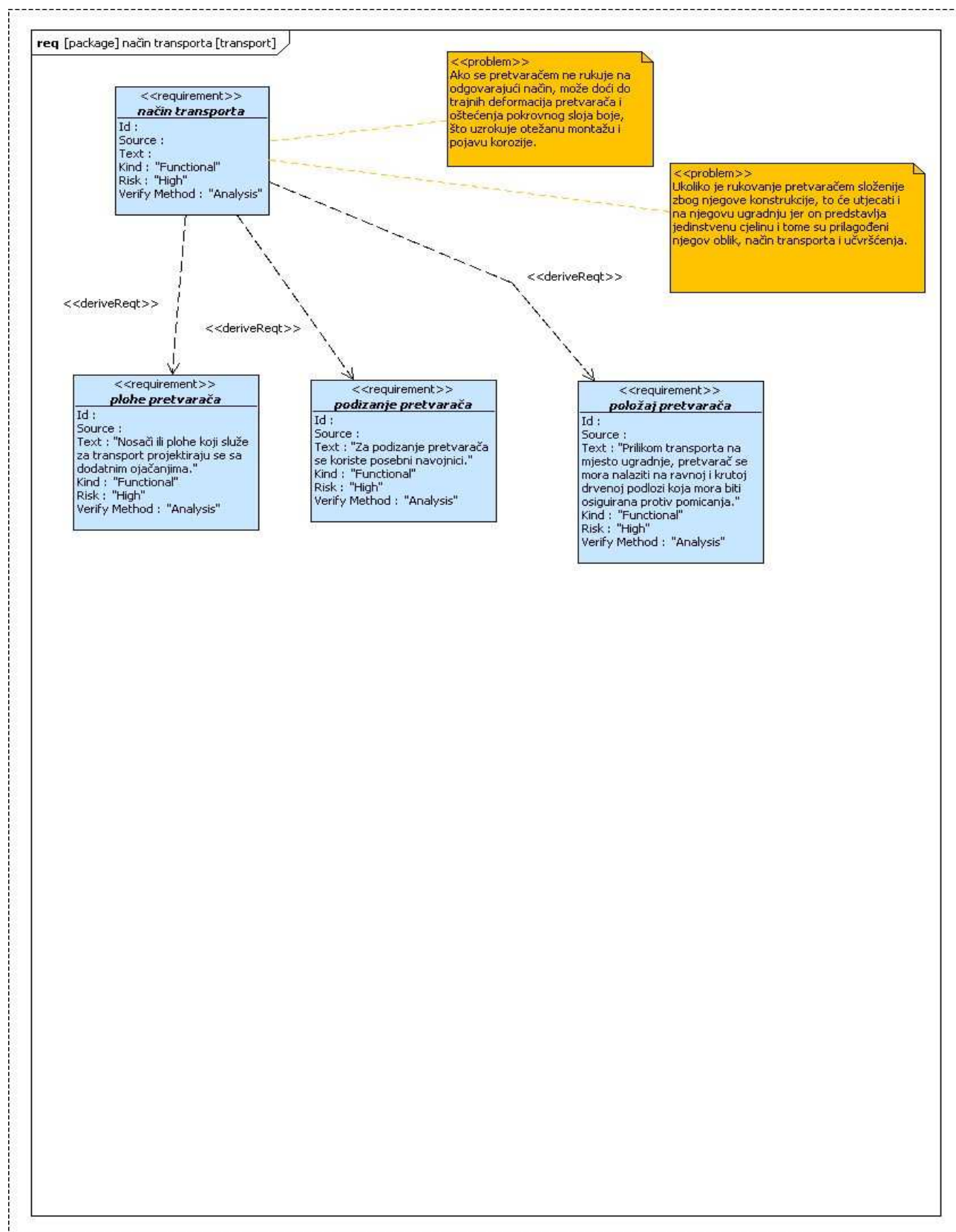
Već je ranije spomenuto kako se pretvarač, ukoliko se odmah ne ugrađuje na vozilo, skladišti. Dijagram zahtjeva relevantnih za skladištenje je prikazan slikom 39.



Slika 39: Dijagram zahtjeva - načini skladištenja

5.2.3.3 Način transporta

Dijagram zahtjeva koji proizlaze iz transporta pretvarača je prikazan na slici 40.

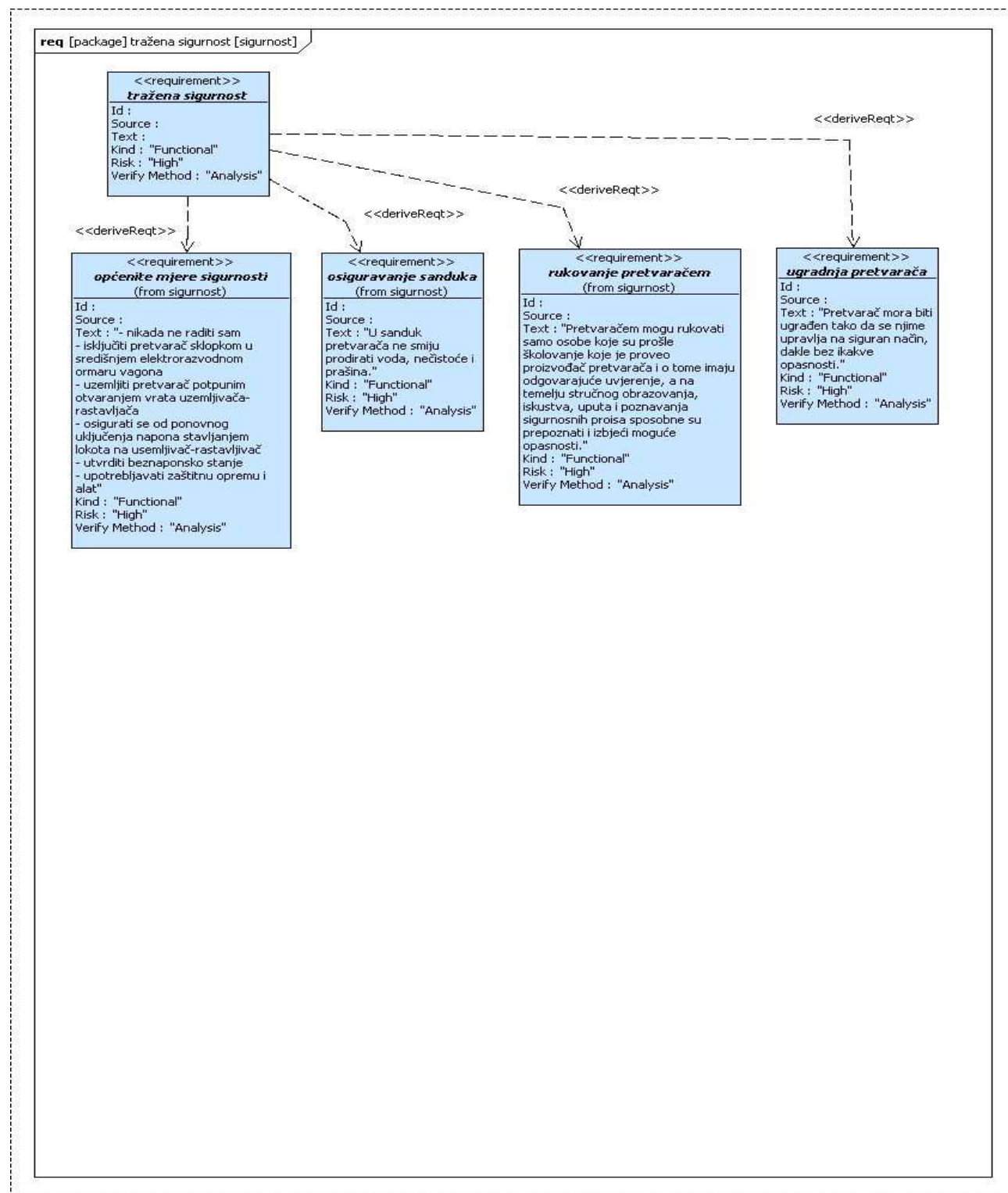


Slika 40: Dijagram zahtjeva – transport

5.2.4 Zahtjevi sigurnosti

5.2.4.1 Tražena sigurnost

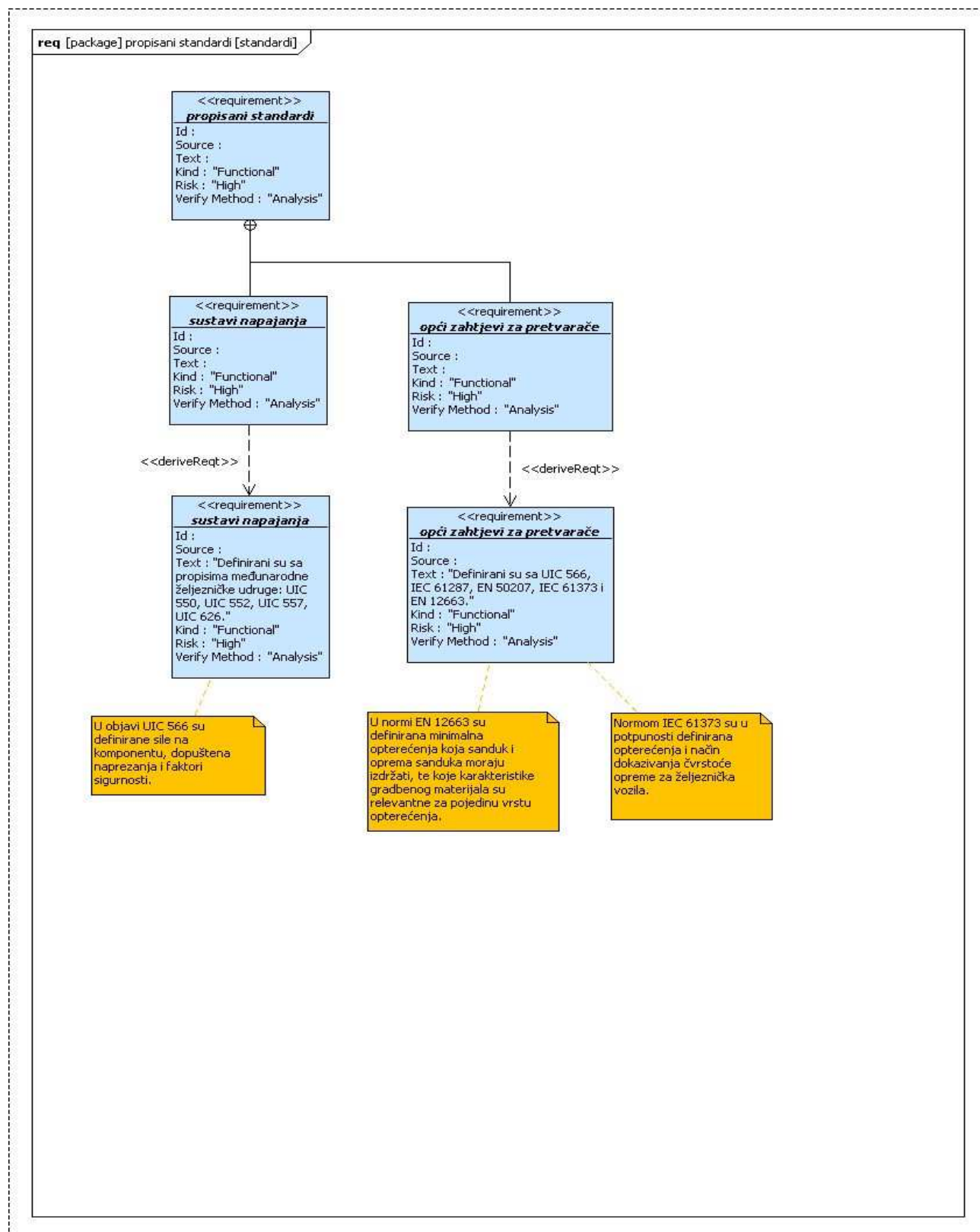
Prilikom rukovanja, nužno je voditi računa o sigurnosti pretvarača. Zahtjevi za sigurnost su prikazani slikom 41.



Slika 41: Dijagram zahtjeva – sigurnost

5.2.4.2 Propisani standardi

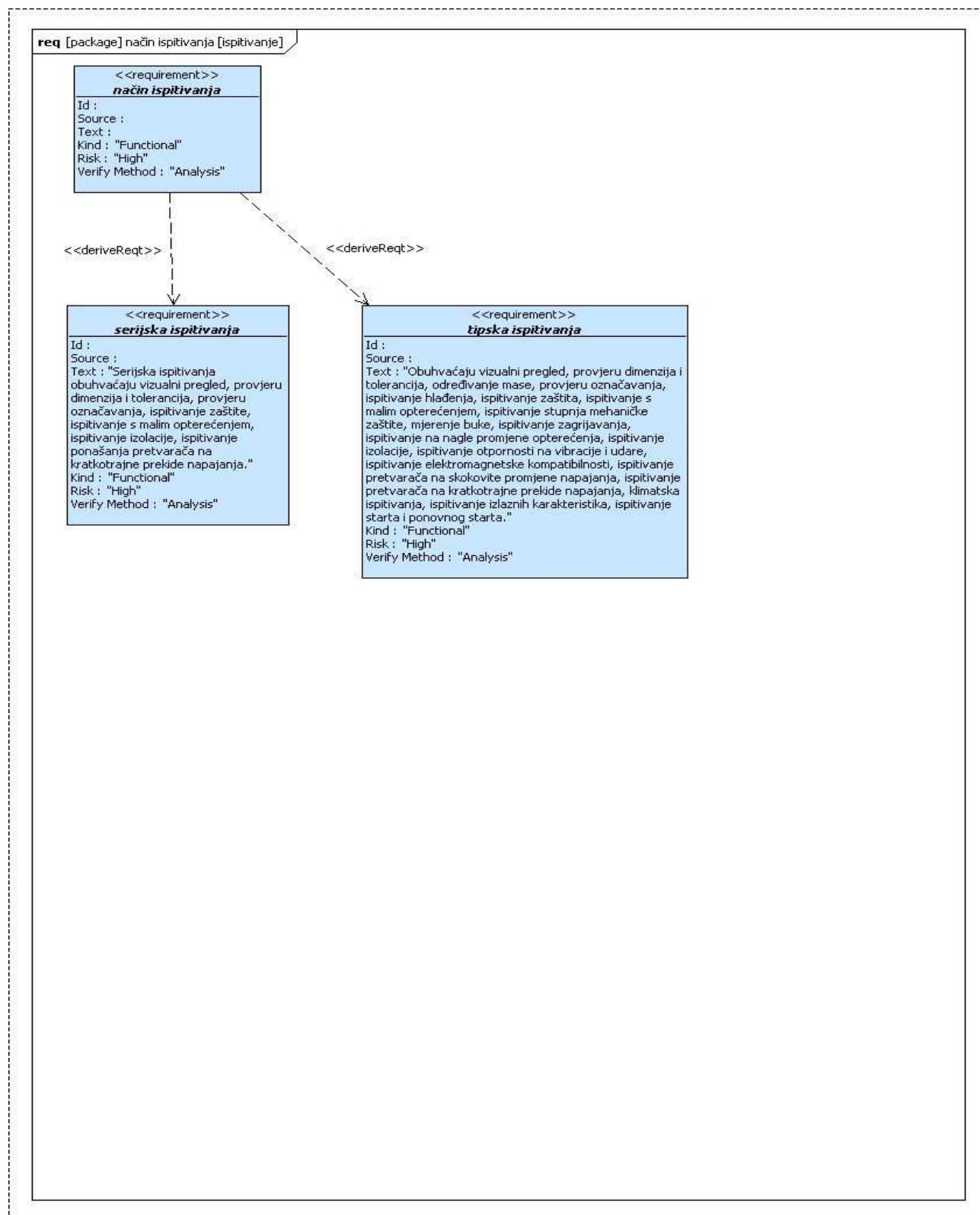
Pretvarač mora zadovoljavati brojne standarde. Dijagram zahtjeva kojime su definirani standardi koje treba poštivati u razvoju i proizvodnji pretvarača je prikazan na slici 42.



Slika 42: Dijagram zahtjeva – standardi

5.2.4.3 Način ispitivanja

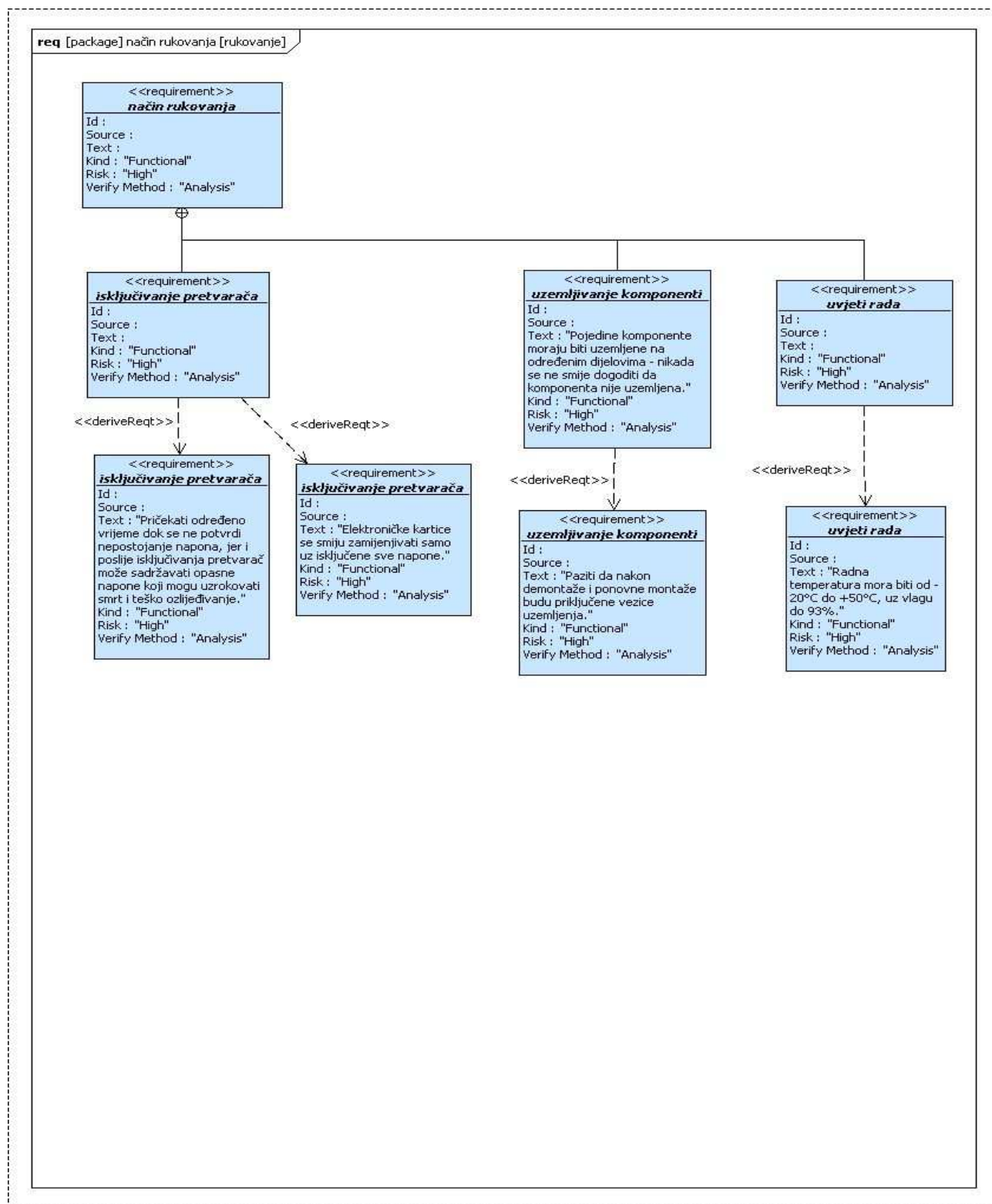
Dijagram zahtjeva koji proizlaze iz ispitivanja pretvarača prikazan je na slici 43.



Slika 43: Dijagram zahtjeva - ispitivanje pretvarača

5.2.4.4 Način rukovanja

Načini rukovanja pripadaju zahtjevima sigurnosti zbog toga što se njima definira način na koji je potrebno rukovati pretvaračem kako bi on uvijek vršio svoju aktivnost, te kako bi se spriječile moguće posljedice kao što su smrt ili teške ozljede. Dijagram zahtjeva vezanih uz način rukovanja je prikazan na slici 44.

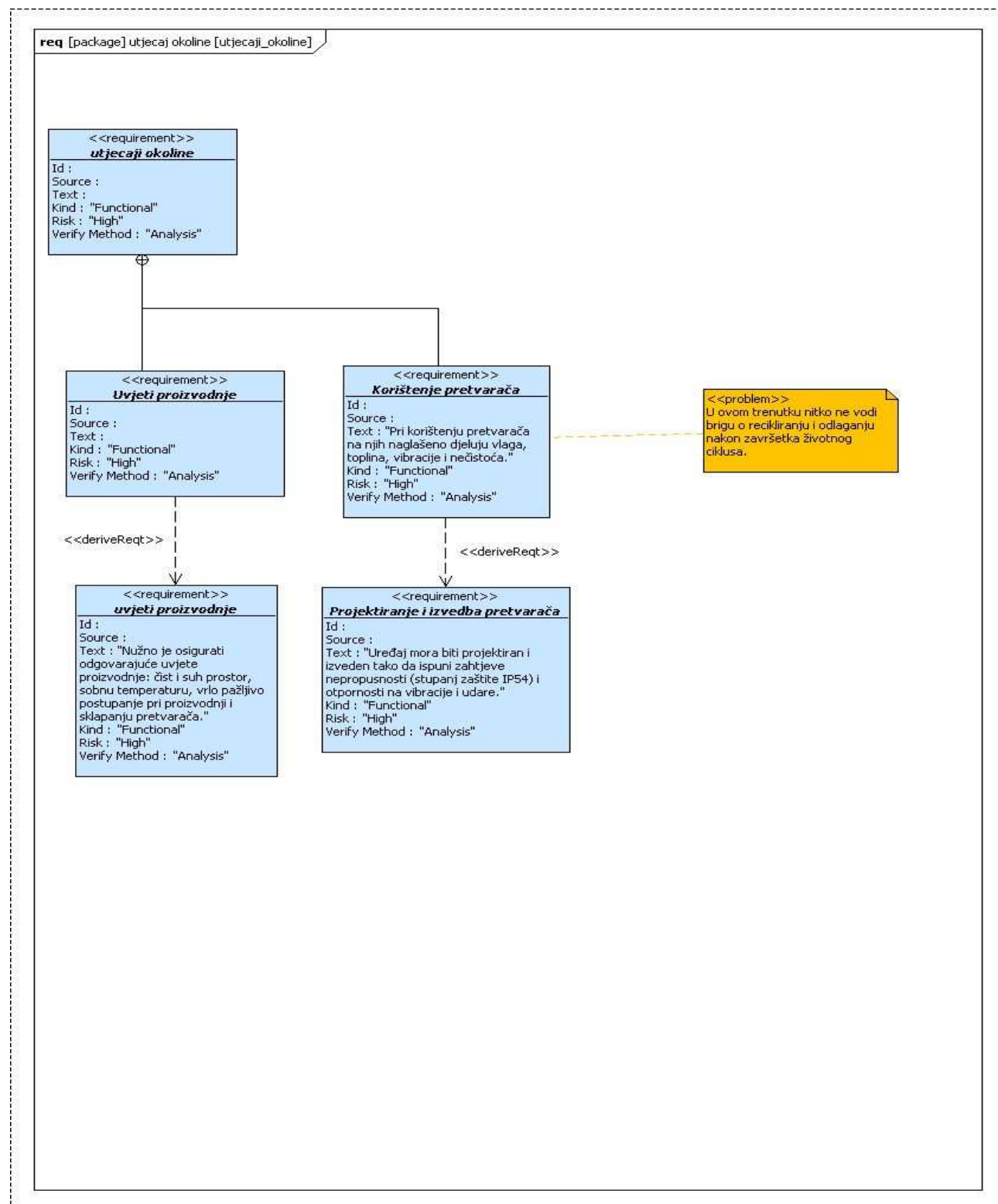


Slika 44: Dijagram zahtjeva - način rukovanja

5.2.5 Zahtjevi okoliša

5.2.5.1 Utjecaji okoline

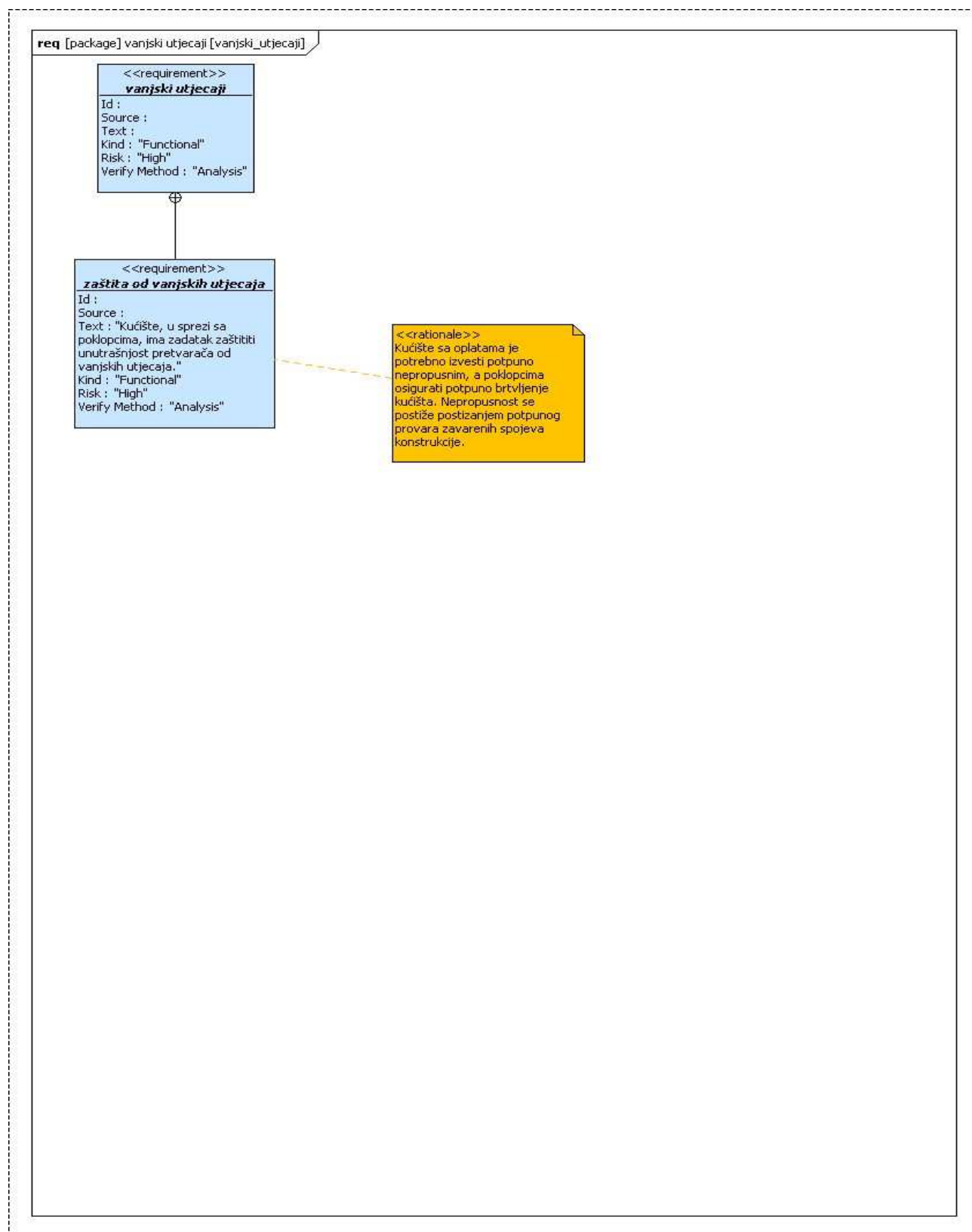
Način na koji su definirani zahtjevi utjecaja okoline – pri čemu se misli na utjecaj pretvarača na okolinu te utjecaj okoline na pretvarač – je prikazan na slici 45.



Slika 45: Dijagram zahtjeva - utjecaj okoline

5.2.5.2 Vanjski utjecaji

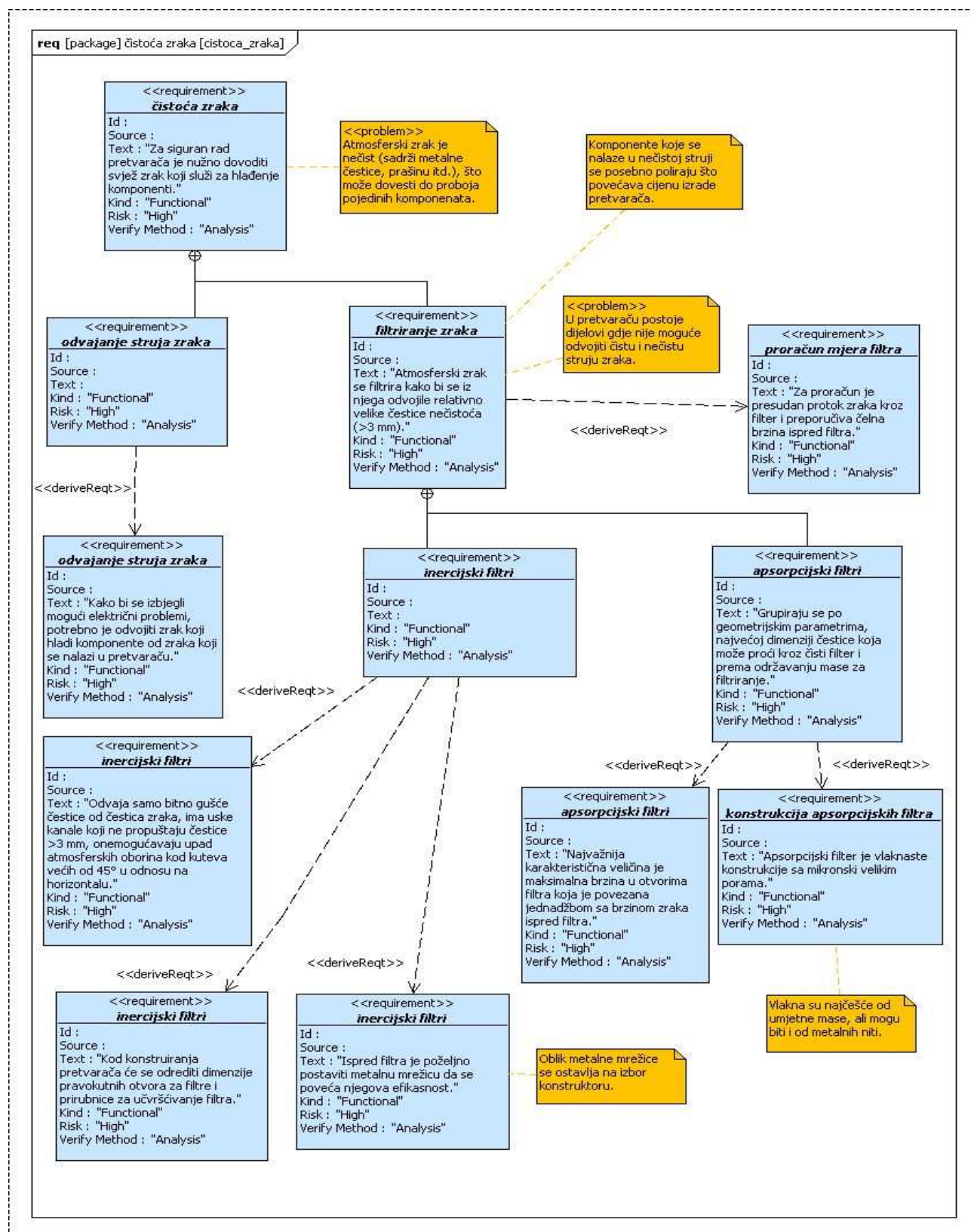
Dijagram zahtjeva kojima se modeliraju vanjski utjecaji je prikazan slikom 46.



Slika 46: Dijagram zahtjeva - vanjski utjecaji

5.2.5.3 Čistoća zraka

Dijagram zahtjeva relevantnih za čistoću zraka je prikazan slikom 47.

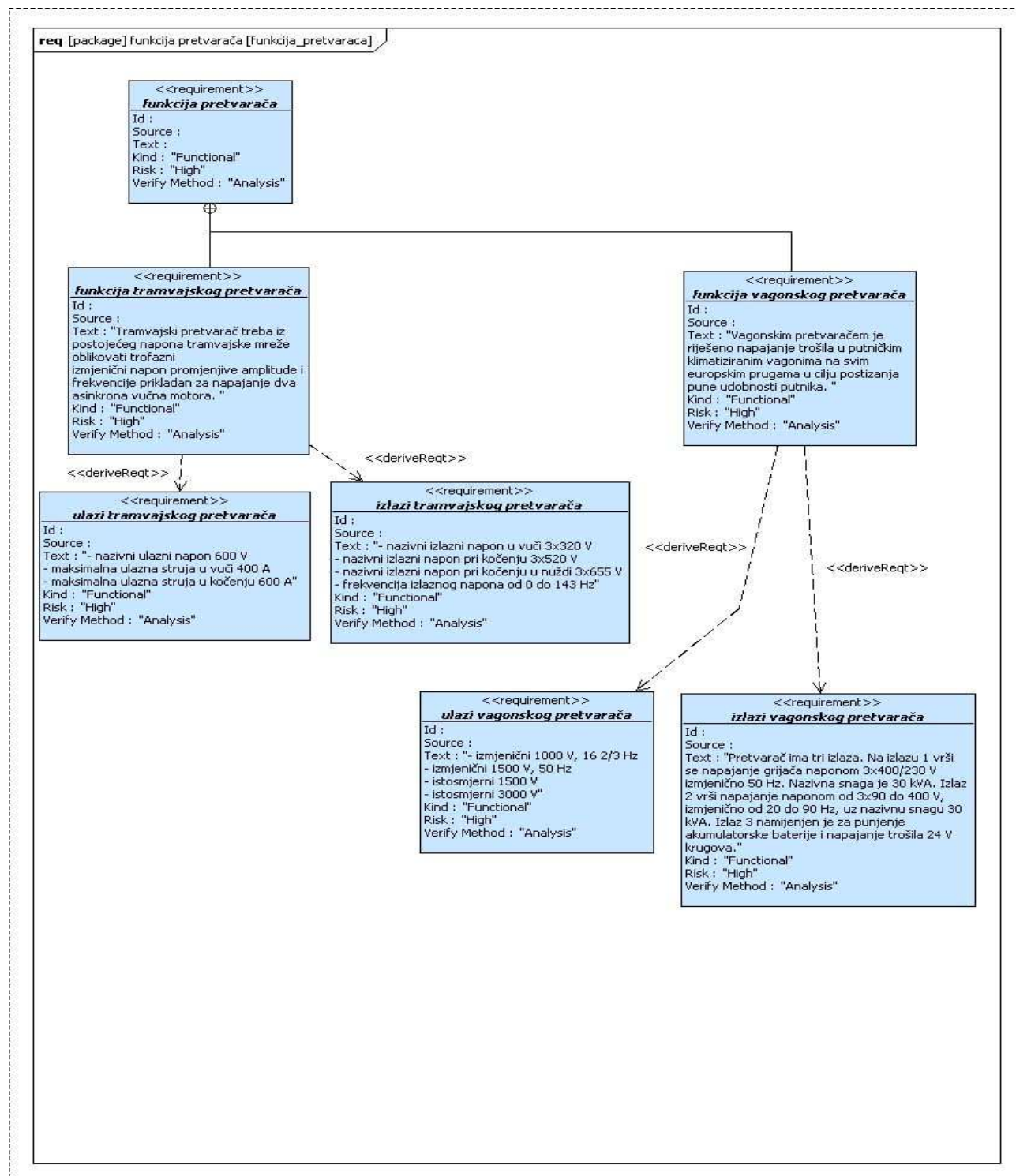


Slika 47: Dijagram zahtjeva - čistoća zraka

5.2.6 Zahtjevi funkcionalnosti

5.2.6.1 Funkcija pretvarača

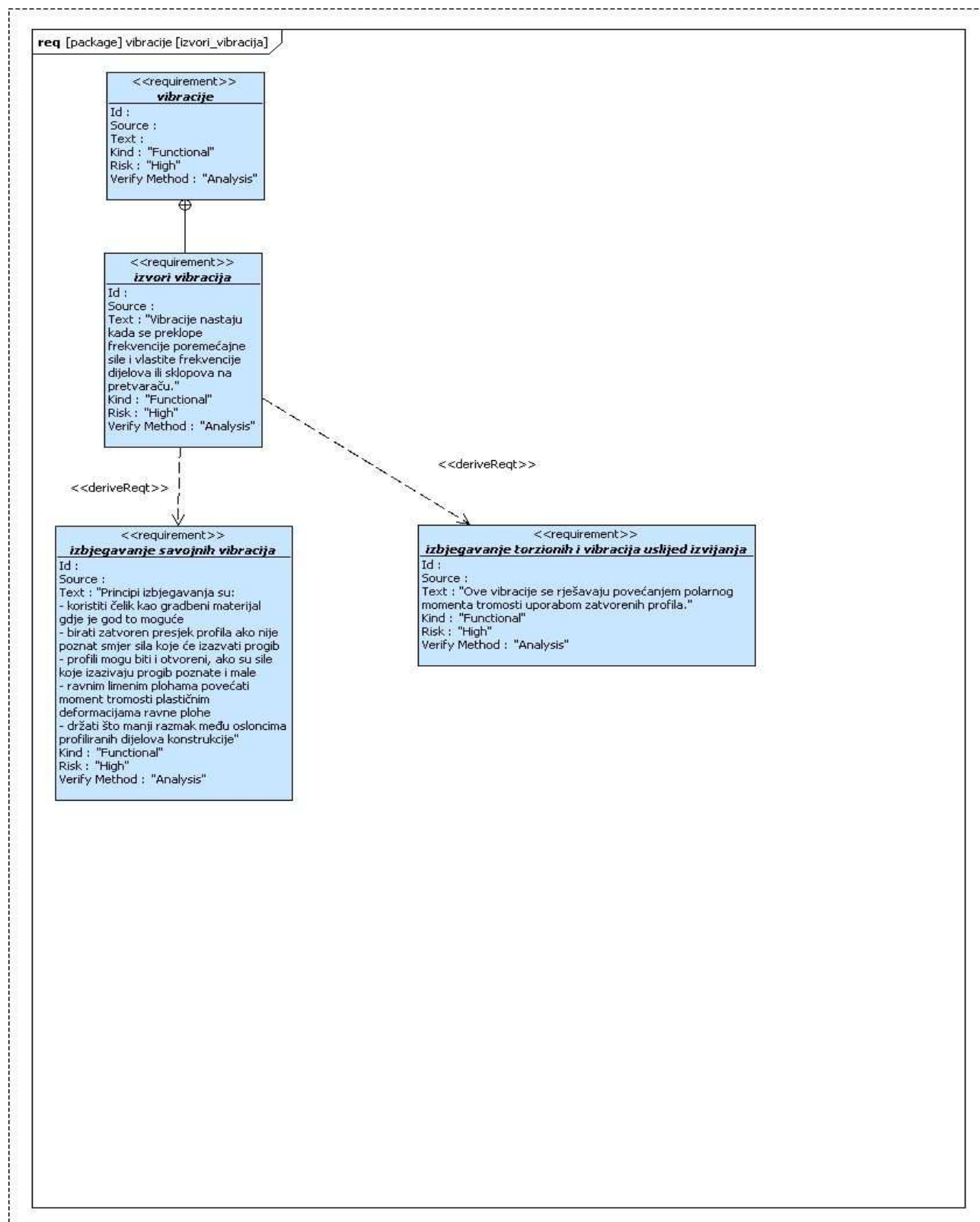
Već je navedeno u tekstu kako je osnovna funkcija pretvarača pretvaranje električne energije iz mreže kako bi se vršilo napajanje različitih uređaja. Na slici 48. je prikazan dijagram zahtjeva kojima je definirana osnovna funkcija pretvarača.



Slika 48: Dijagram zahtjeva - funkcija pretvarača

5.2.6.2 Vibracije

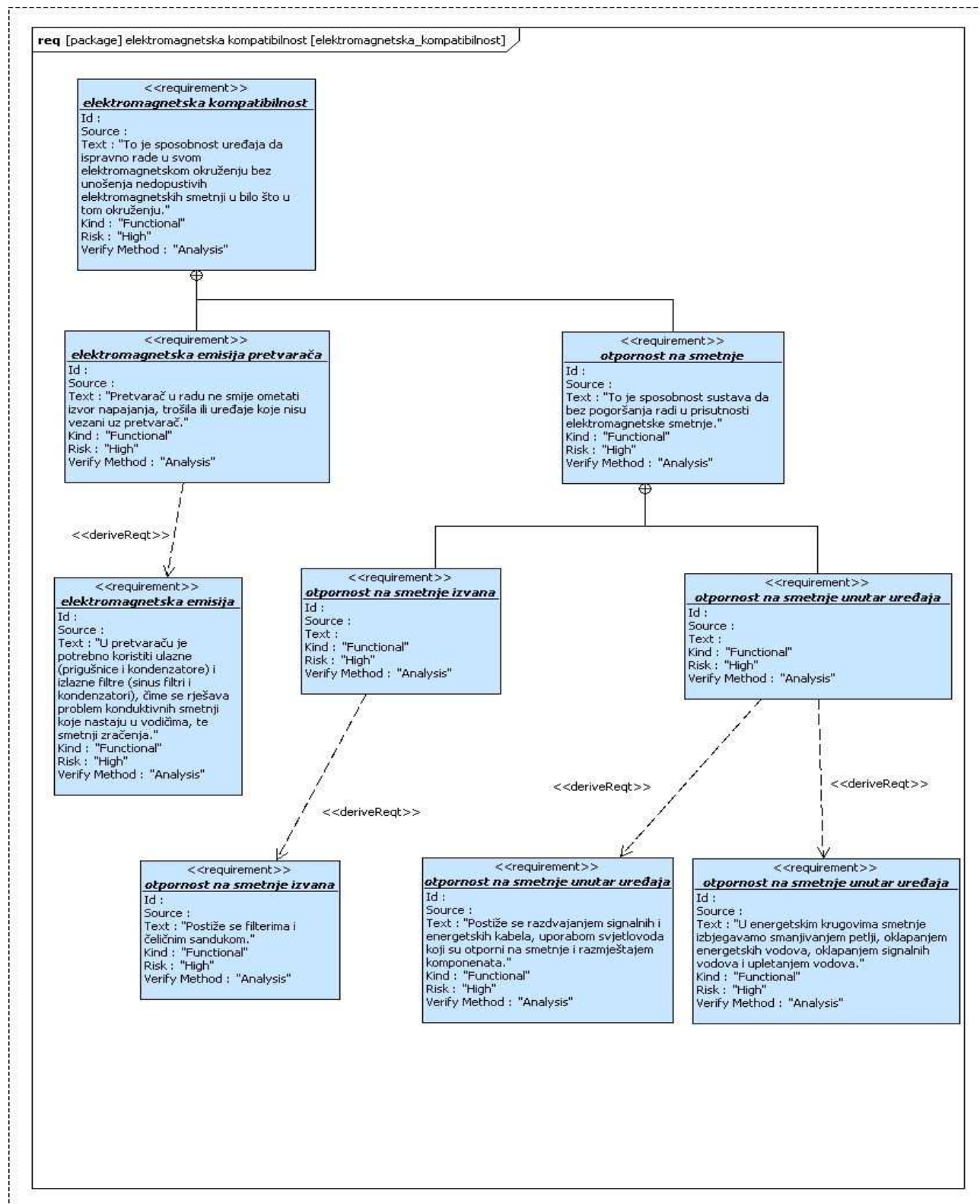
Dijagram zahtjeva kojim se definira način izbjegavanja vibracija je prikazan slikom 49.



Slika 49: Dijagram zahtjeva – vibracije

5.2.6.3 Elektromagnetska kompatibilnost

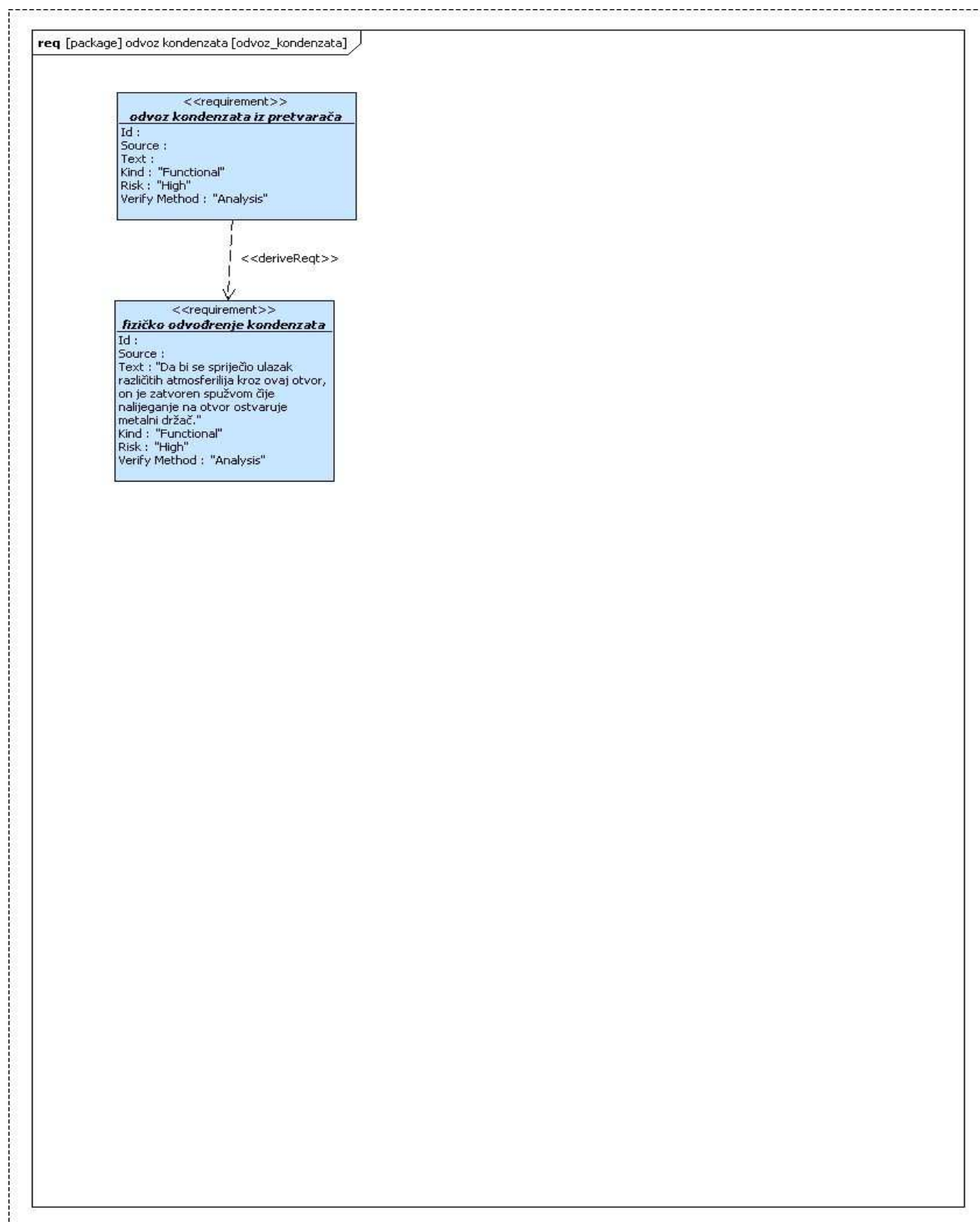
Elektromagnetska kompatibilnost je veoma bitna jer pretvarač, osim što mora biti otporan na smetnje, mora ne ometati rad drugih uređaja, npr. mobitela. Na slici 50. je dijagram zahtjeva za elektromagnetsku kompatibilnost.



Slika 50: Dijagram zahtjeva - elektromagnetska kompatibilnost

5.2.6.4 Odvoz kondenzata

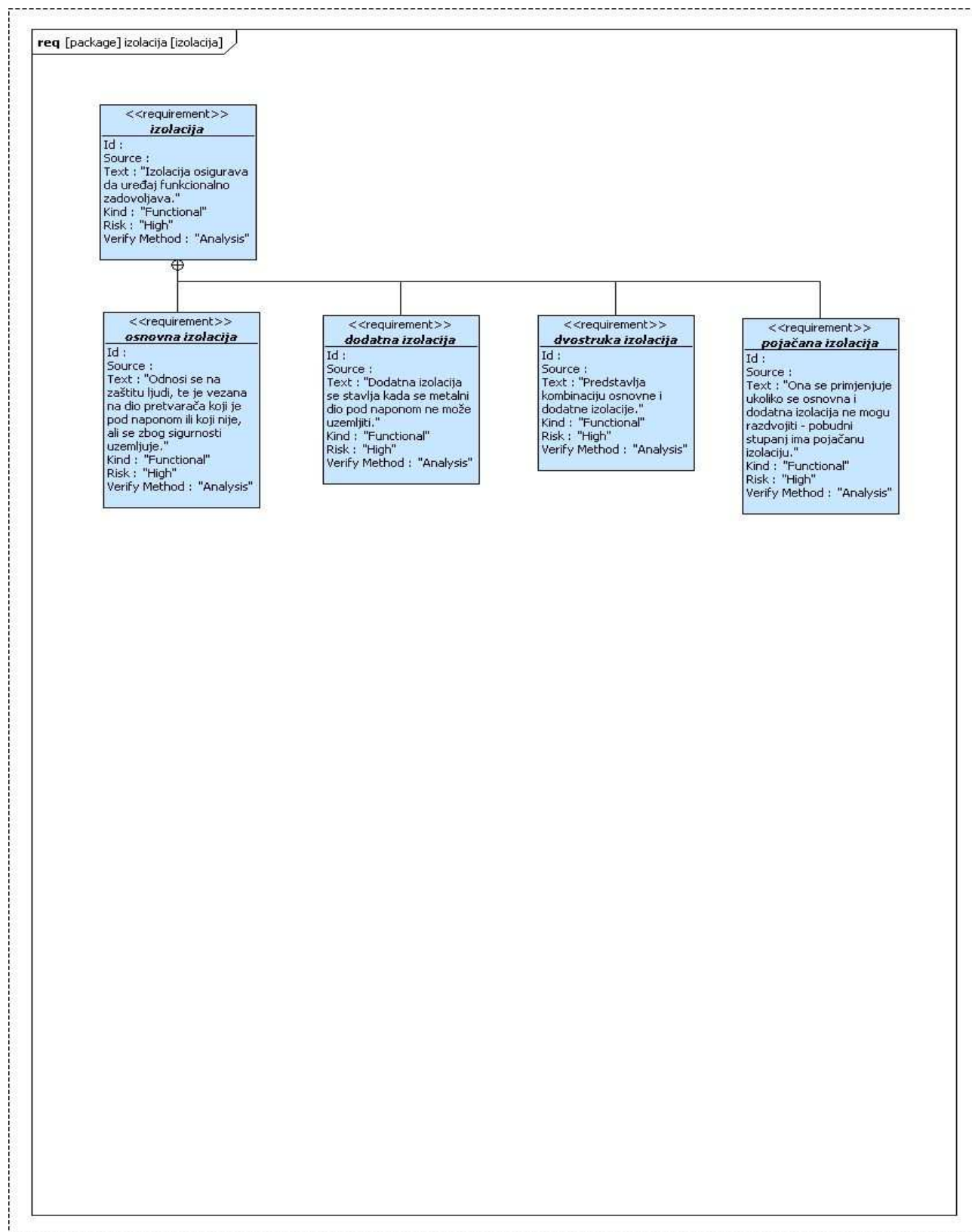
Dijagram zahtjeva za odvoz kondenzata je prikazan slikom 51.



Slika 51: Dijagram zahtjeva - odvoz kondenzata

5.2.6.5 Tražena izolacija

Kako bi pretvarač funkcionalno zadovoljavao, nužno je osigurati izolaciju. Zahtjevi za izolacijom su prikazani na slici 52.



Slika 52: Dijagram zahtjeva – izolacija

5.3 Dijagrami strukture

Dijagramima strukture su modelirane funkcije koje pretvarač mora ispuniti, te komponente pretvarača koje realiziraju te funkcije.

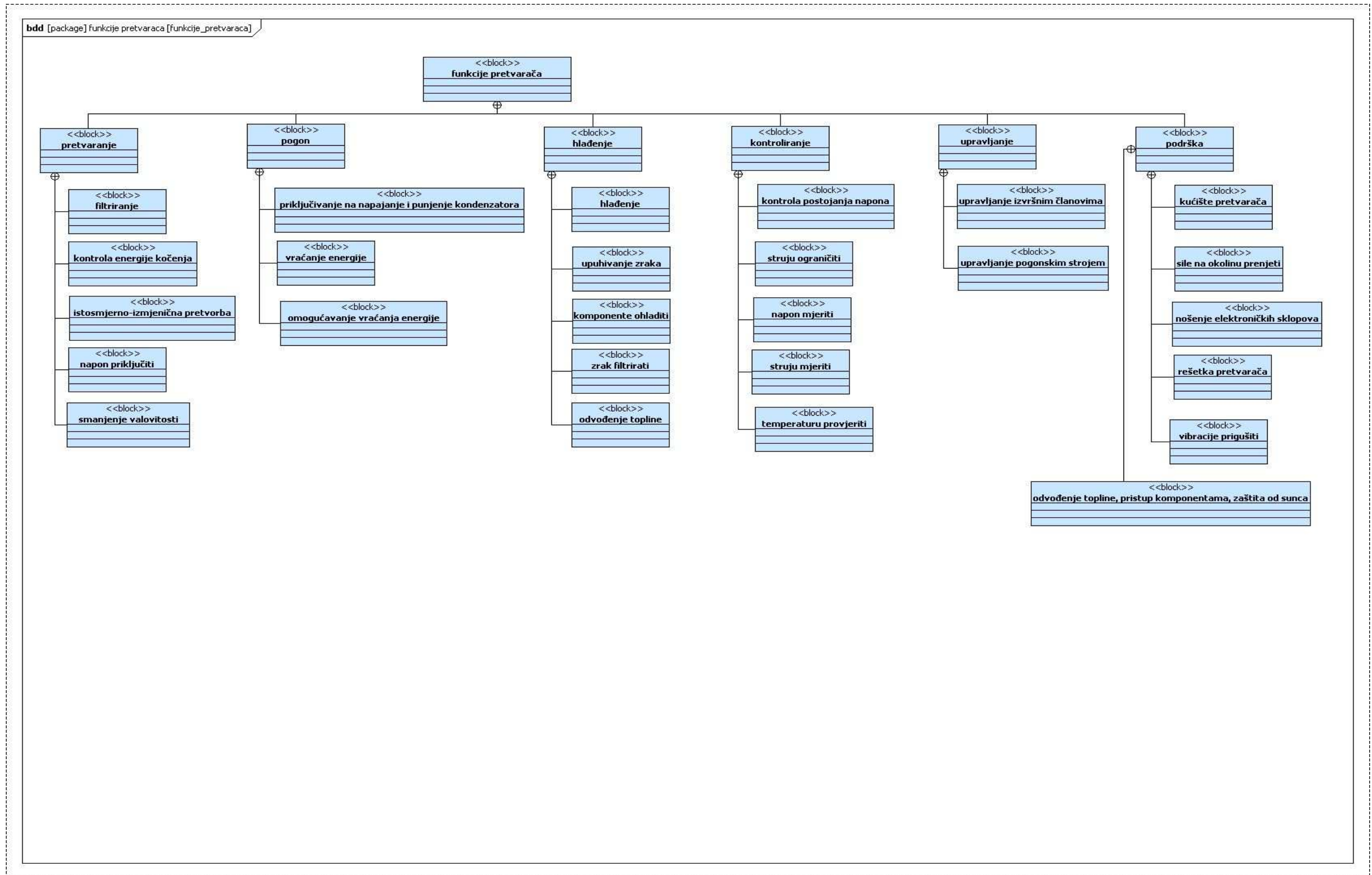
5.3.1 Funkcije pretvarača

Funkcija je svojstvo tehničkog sustava koje opisuje njegovu sposobnost ispunjavanja svrhe za koju je namijenjen, tj. transformaciju ulaznih veličina u izlazne u zadanim uvjetima. Načelno, razlikujemo:

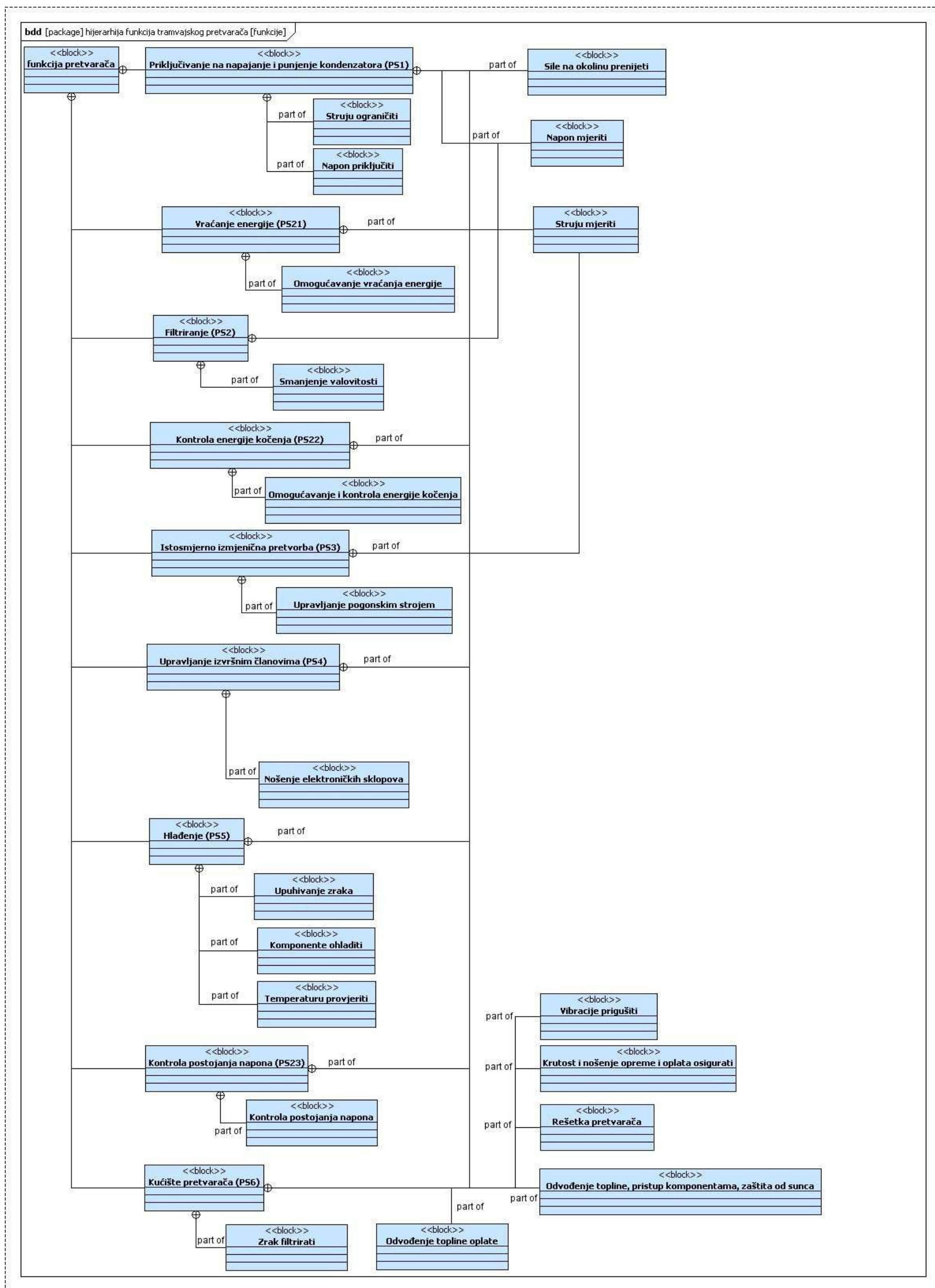
- radnu funkciju,
- pomoćne funkcije.

Radna funkcija kod pretvarača je pretvaranje električne energije iz mreže u odgovarajući oblik na izlazu. Pomoćne funkcije kod pretvarača su pogon, hlađenje, kontroliranje, upravljanje i podrška. Takva klasifikacija funkcija pretvarača je prikazana slikom 53.

Slikom 54. su prikazane funkcije pretvarača grupirane na temelju njihove pripadnosti pojedinim podsustavima, tj. njihova hijerarhijska struktura.



Slika 53: Dijagram strukture - funkcije pretvarača

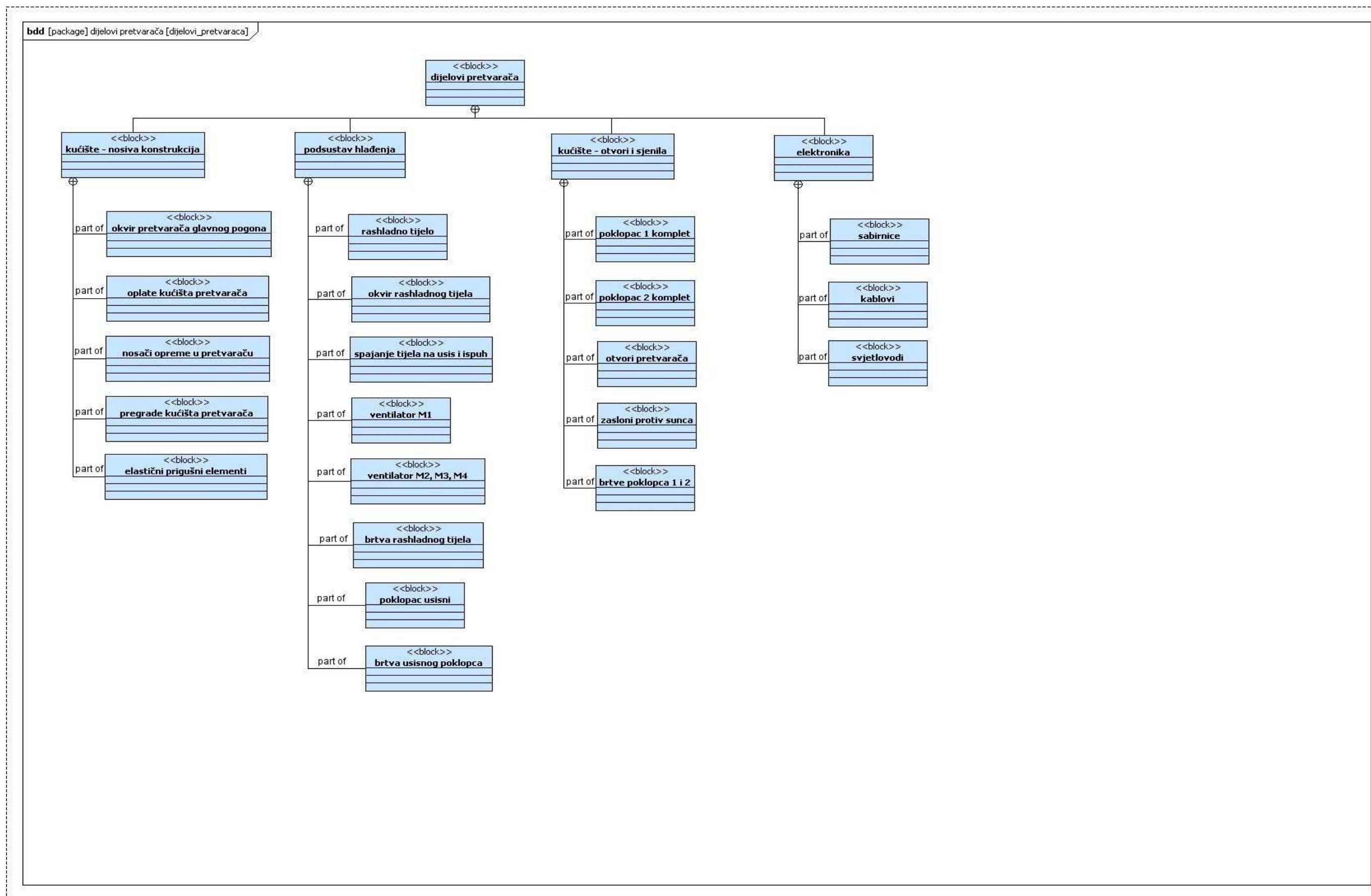


Slika 54: Dijagram strukture – hijerarhija funkcija tramvajskog pretvarača

5.3.2 Komponente pretvarača

Komponente pretvarača su također modelirani dijagramima strukture. Na slici 55. je prikazana hijerarhijska struktura komponenti pretvarača razvrstanih prema pripadnosti u četiri osnovna podsustava:

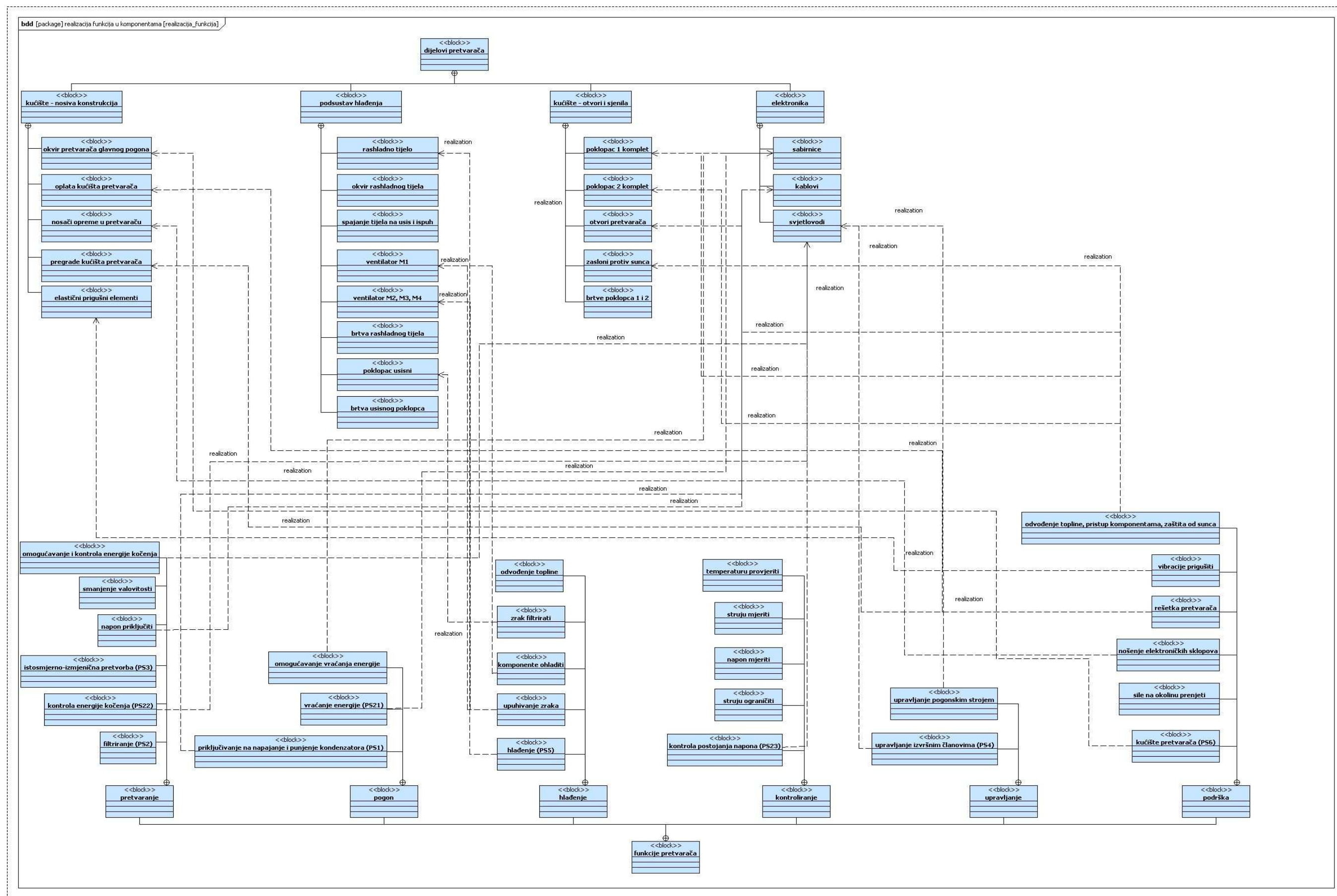
- kućište – nosiva konstrukcija,
- podsustav hlađenja,
- kućište – otvori i sjenila,
- vođenje električne energije.



Slika 55: Dijagram strukture - dijelovi pretvarača

5.3.3 Realizacija funkcija u komponentama

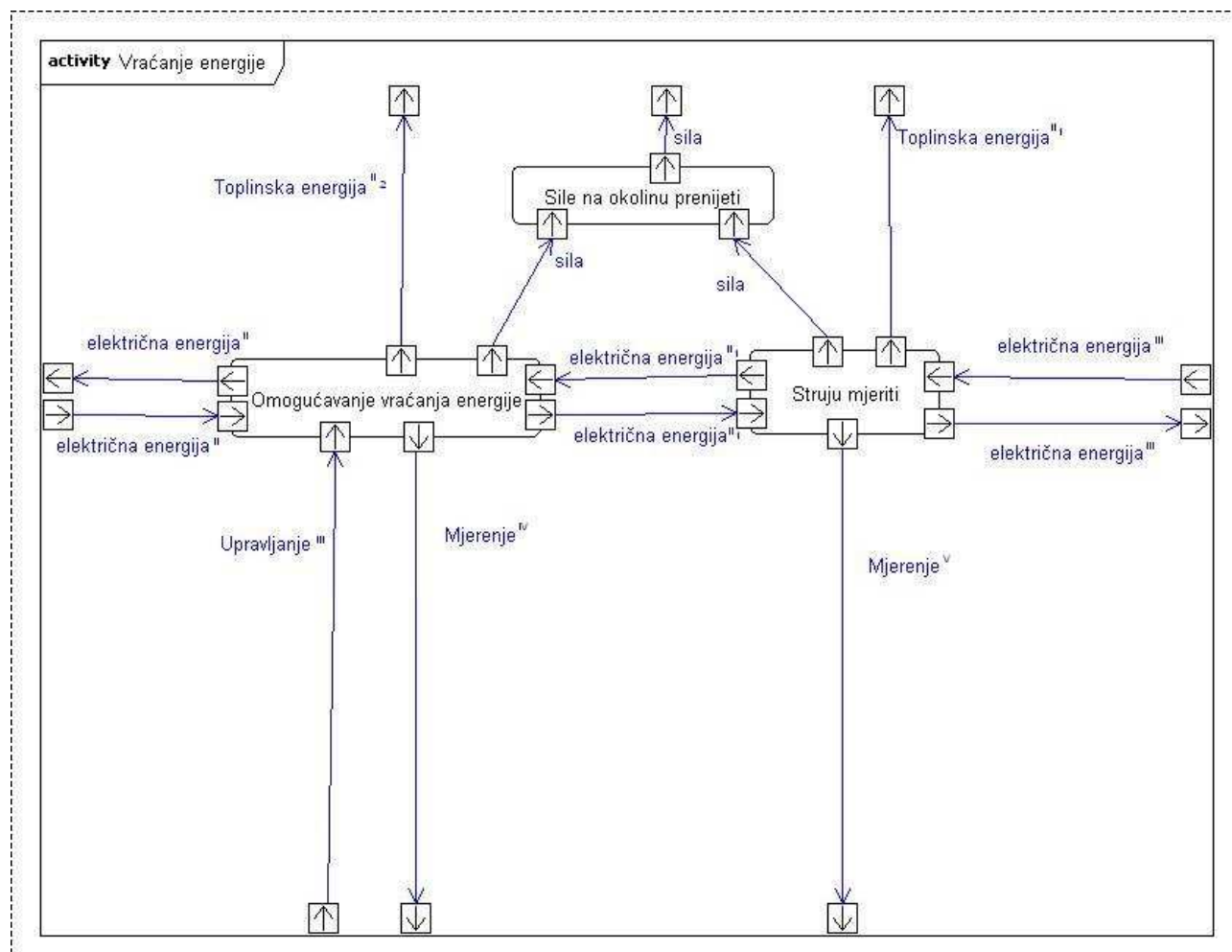
Način na koji su funkcije pretvarača realizirane prikazan je slikom 56.



Slika 56: Realizacija funkcija

5.4 Dijagrami ponašanja

Kako bi se ilustrirao izgled dijagrama ponašanja kojim se prikazuju tokovi energije, materijala i informacija među funkcijama pretvarača električnih veličina, u ovom je poglavlju kao prikazan dijagram aktivnosti podsustava PS21. Ovaj dijagram ponašanja je izrađen na temelju funkcijske strukture tramvajskog pretvarača, te je prikazan slikom 57.



Slika 57: Dijagram aktivnosti - podsustav PS21

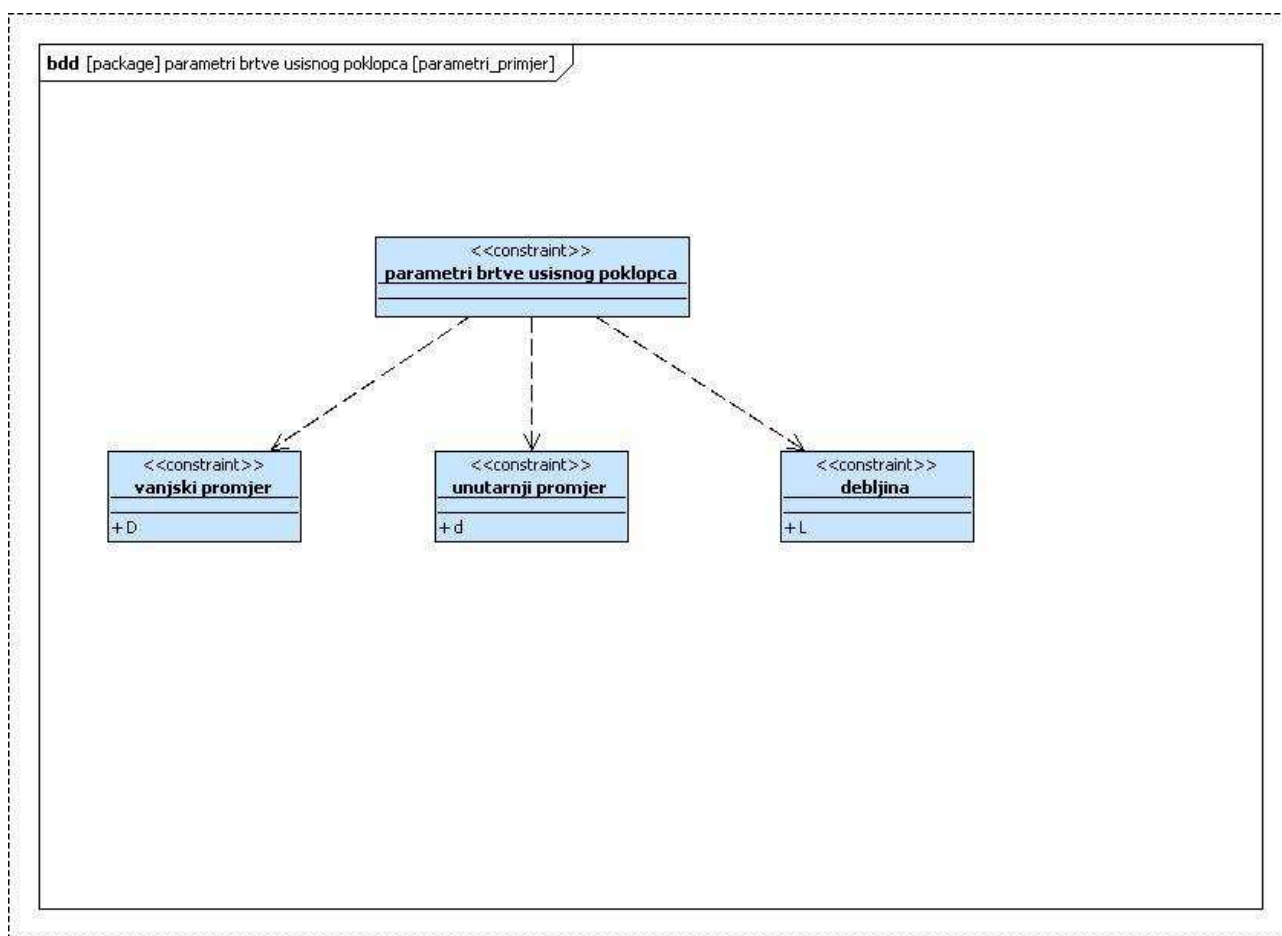
5.5 Parametarski dijagrami

Već je ranije rečeno kako se parametarskim dijagramima mogu prikazati ograničenja određenih blokova – u ovom slučaju blokovi predstavljaju komponente pretvarača koji ovise o određenim parametrima.

Kao primjer, dan je parametarski dijagram brtve usisnog poklopca. Parametri brtve usisnog poklopca su:

- vanjski promjer D ,
- unutarnji promjer d ,
- debljina L .

Parametarski dijagram brtve usisnog poklopca prikazan je na slici 58.



Slika 58: Primjer parametarskog dijagrama - brtva usisnog poklopca

6. Zaključak

Na samom početku rada je rečeno kako je SysML grafički jezik općenite namjene kojim se koristi za modeliranje informacija, iz čega se može zaključiti kako je glavna prednost korištenja SysML-a nad klasičnim zapisom informacija u njegovoj preglednosti, na što je stavljen naglasak u ovom radu. Osnovna ideja je bila prikazati strukturu pretvarača električnih veličina tračničkih vozila modelirajući postavljene zahtjeve, funkcije koje pretvarač treba ispuniti, komponente, aktivnosti koje se odvijaju unutar pretvarača kako bi on ispunio svoju funkciju te u konačnici parametre komponenata koji postavljaju granice unutar kojih pretvarač i njegove komponente moraju ostati.

Uz preglednost, ovakvim jednoznačnim pristupom se poboljšava komunikacija između svih interesnih grupa – bilo onih koji se bave razvojem proizvoda, bilo onih koji u životnom ciklusu proizvoda sudjeluju samo kao krajnji korisnici.

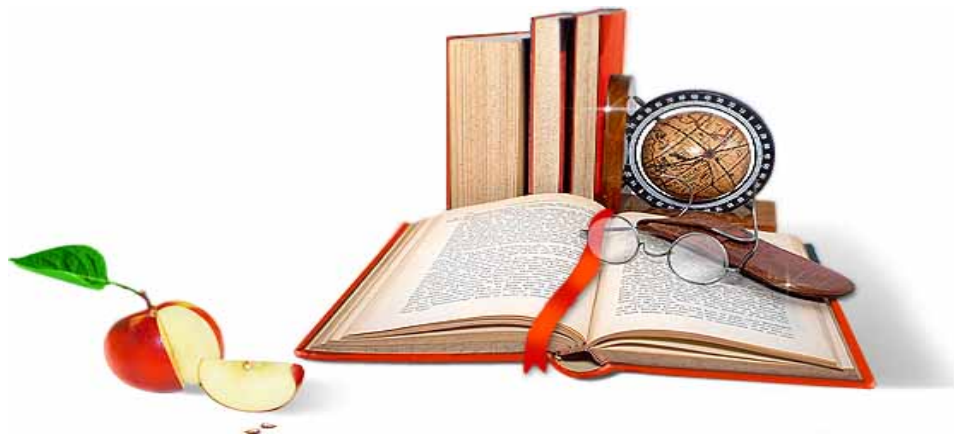
Glavni nedostatak ovakvog pristupa modeliranju informacija jest nedostatak odgovarajućeg računalnog alata – Topcased okruženje ima popriličan broj nedostataka te je poprilično neintuitivan, dok Microsoft Visio još uvijek u sebi nema podršku za SysML. Osim spomenute neintuitivnosti, problemi Topcased okruženja su i nedostatak odgovarajuće popratne dokumentacije, barem one vezane uz SysML dijagrame, nemogućnost detaljnijeg podešavanja postavki, kao što su npr. podešavanje postavki prikaza blokova i nemogućnost definiranja vrste zahtjeva od strane korisnika. Jedan od mogućih razloga za nedostatke jest to što je SysML novi standard, koji još uvijek nije u potpunosti zaživio.

7. Literatura

- [1] OMG SysML specifikacija, <http://www.omg.org/cgi-bin/apps/doc?formal/07-09-01.pdf>
- [5] <http://www.omgsysml.org/>
- [3] OMG SysML vodič, <http://www.omgsysml.org/INCOSE-2007-OMG-SysML-Tutorial.pdf>
- [4] Vukobrat M., Modularna arhitektura pretvarača električnih veličina tračničkih vozila, Magistarski rad, FSB, Zagreb 2007.
- [5] Topcased user guide

BESPLATNI GOTOVI SEMINARSKI, DIPLOMSKI I MATURSKI RAD.

**RADOVI IZ SVIH OBLASTI, POWERPOINT PREZENTACIJE I DRUGI EDUKATIVNI
MATERIJALI.**



WWW.SEMINARSKIRAD.ORG

WWW.MATURSKIRADOVI.NET

WWW.MATURSKI.NET

WWW.SEMINARSKIRAD.INFO

WWW.MATURSKI.ORG

WWW.ESSAYSX.COM

WWW.FACEBOOK.COM/DIPLOMSKIRADOVI

NA NAŠIM SAJTOVIMA MOŽETE PRONAĆI SVE, BILO DA JE TO [SEMINARSKI](#), [DIPLOMSKI](#) ILI [MATURSKI](#) RAD, POWERPOINT PREZENTACIJA I DRUGI EDUKATIVNI MATERIJAL. ZA RAZLIKU OD OSTALIH MI VAM PRUŽAMO DA POGLEDATE SVAKI RAD, NJEGOV SADRŽAJ I PRVE TRI STRANE TAKO DA MOŽETE TAČNO DA ODABERETE ONO ŠTO VAM U POTPUNOSTI ODGOVARA. U BAZI SE NALAZE [GOTOVI SEMINARSKI, DIPLOMSKI I MATURSKI RADOVI](#) KOJE MOŽETE SKINUTI I UZ NJIHOVU POMOĆ NAPRAVITI JEDINSTVEN I UNIKATAN RAD. AKO U [BAZI](#) NE NAĐETE RAD KOJI VAM JE POTREBAN, U SVAKOM MOMENTU MOŽETE NARUČITI DA VAM SE IZRADI NOVI, UNIKATAN SEMINARSKI ILI NEKI DRUGI RAD RAD NA LINKU [IZRADA RADOVA](#). PITANJA I ODGOVORE MOŽETE DOBITI NA NAŠEM [FORUMU](#) ILI NA MATURSKIRADOVI.NET@GMAIL.COM