

6. РАЗБИРАЊЕ НА ПРОБЛЕМОТ И РАЗРАБОТКА НА ИНЖЕНЕРСКИТЕ СПЕЦИФИКАЦИИ

6.1. Листа на барања

Успешноста на производот на пазарот зависи пред се од тоа колку е производот препознатлив на пазарот и од употребната и естетската вредност која производот им ја нуди на купувачите. Производите, кои купувачите ги оценуваат како многу подобри од конкурентските производи или како подобри во некои битни карактеристики, се просечно 5 пати поуспешни од производите кои само незначително се различни од конкурентските.

Производите кои минале низ интензивна подготовка се просечно 2,5 пати поуспешни од тие за кои немало многу подготовка. Производите кои биле добро дефинирани пред да се отпочне со конструирањето се просечно 3,3 пати поуспешни од тие кои не биле добро дефинирани во стартот. Ова укажува на потребата за јасна претстава за карактеристиките што треба да ги исполнува производот уште пред да се отпочне со неговото конструирање.

Во почетната фаза на развој на нов производ не можат да бидат јасни сите детали на конструкцијата. Сепак некои карактеристики на производот можат јасно да се дефинираат. Овие карактеристики се одредуваат пред се според **потребите на пазарот**, односно според **можностите за освојување на нови пазари**. Целите кои треба да се остварат за да се постигне конкурентност на производот можат да бидат различни. Цел може да биде новиот производ да биде *подобар* од конкурентските производи, со што при дефинирањето на концептот на производот јасно се задава цената што не смее да ја надмине новиот производ. Цел може да биде и изработка на производ кој *работи подобро* од конкурентските производи, при што се знае точно кои подобрувања треба да ги има новиот производ. Често пати се воведува нов производ со цел да се биде *во чекор со новите модели* на конкурентските производители. И во овој случај многу од карактеристиките на производот се познати во фазата на конципирање на новиот производ и можат да бидат јасно поставени како цел на конструирањето.

Со листата на барања се задаваат карактеристики кои треба да ги поседува новата конструкција, при што се опфатени: изгледот на производот, функциите кои треба да ги извршува, како може да се изработи, пакува и испорачува до продавниците. Овој документ треба да биде усвоен со консензус од страна на тимот кој понатаму детално ќе ја разработува конструкцијата. *Со листата на барања се задаваат критериумите според кои понатаму ќе се оценува успешноста во работата врз развојот на конструкцијата.* **Производите кои во целост ги исполнуваат поставените барања се очекува да бидат успешни на пазарот, додека конструктивните решенија кои не ги исполнуваат поставените барања треба навреме да се отфрлат.**

Со цел да се постигне потребниот квалитет на производот, пожелно е барањата да се класифицираат во две групи: услови и желби. **Услови се оние**

барања кои производот мора да ги исполнува со цел да биде комерцијално успешен. Тука стаѓаат барањата за почитување на законската регулатива и стандардите. Тука спаѓаат и сите оние работи кои производот мора да ги поседува, за купувачот воопшто да почне да размислува да го купи производот. На пример, неопходни услови кои би требало да ги исполнуваат едни ножици се: сечилата да бидат остри и рачките да бидат удобни за прстите. Бојата, изгледот и гаранцијата колку долго ножиците ќе бидат остри не се неопходни предуслови за купување на ножиците. **Оние својства на производот кои се пожелни за да се зголемат предностите на производот во однос на слични конкурентски производи, во листата барања се оквалификуваат како желби.**

Ако во процесот на конструирањето се случи некое конструктивно решение да не ги исполнува неопходните услови, тоа мора да се отфрли за да не се троши скапоцено време и средства. Условите претставуваат минимум на барања кои мора да ги задоволува производот за да може успешно да се продава. Ако овие услови не се задоволени, производот нема да ги задоволува ни минимумот критериуми за да биде комерцијално успешен. За разлика од условите, сите желби не мора да се реализираат во потполност при конструирањето на производот. Желбите можат да бидат на пример, дополнителна опрема, подобрена ергономија, примена на поквалитетни материјали, помал број делови и др. Степенот на исполнувањето на желбите зададени во листата барања за производот ја дефинира дополнителната вредност вградена во производот, односно квалитетот на производот.

Листата на барања се користи понатаму како документ според кој се оценува квалитетот на конструктивните решенија во периодот на развитокот на производот. Конструктивните решенија кои во повисок степен ги исполнуваат зададените барања се оценуваат како подобри.

За илустрација на методот може да се разгледа примерот на рачна пегла. Анализата на барањата на купувачите е збрана во табелата 6.1.

6.2. Развој на функцијата на квалитет

Анализите покажуваат дека лошото дефинирање на производот е најчеста причина (во 80% случаи) за задоцнето излегување на производот на пазар. Задоцнетото излегување на производот на пазар повеќе го чини претпријатието отколку нецелосно оптимизираната цена или нецелосно оптимизираните карактеристики.

Друг тежок проблем за претпријатијата се "лизгавите спецификации" што значи менување на спецификациите на производот за време на процесот на конструирање. Лизгавите спецификации се јавуваат поради три фактори. Прво, со напредување на процесот на конструирањето се осознаваат повеќе работи за производот и може да се додаваат нови барања. Второ, поради времетраењето на процесот на конструирањето, на пазарот може да се јават нови технологии и нови конкурентски производи. Во такви случаи е тешко да се донесе одлука: а) дали да се игнорираат промените, б) да се вградат промениите (преку промена на спецификациите) или в) да се почне одново

(т.е. да се одлучи дека новиот развој на настаните го елиминирал пазарот за производот кој се конструира). Трето, бидејќи во процесот на конструирање се бара донесување одлуки, секоја промена на спецификациите предизвикува преиспитување на сите одлуки кои зависат од променетите спецификации. Кога промена на спецификациите е навистина неопходна, промената треба да се направи на организиран и информиран начин.

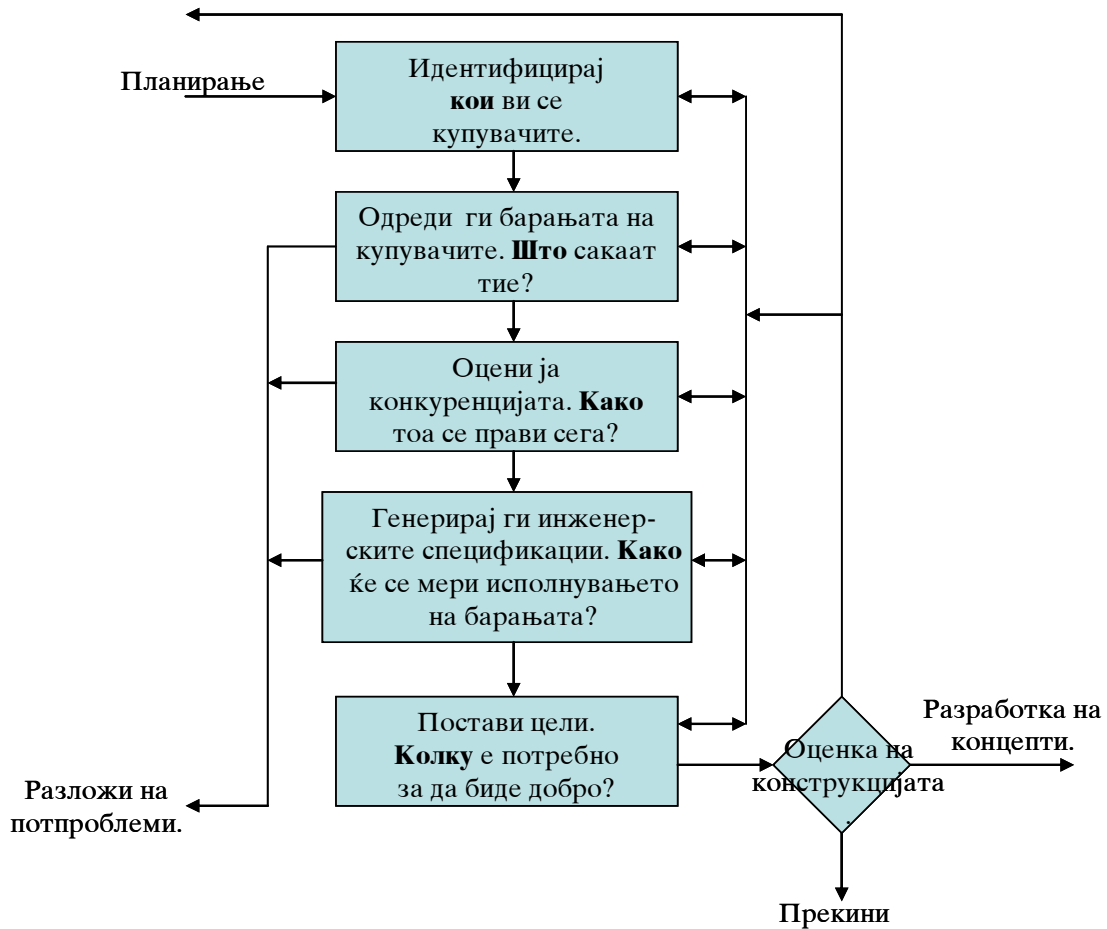
Табела 6.1. Листа на барања за рачна пегла

Карактеристики	Функции		
	Глагол	Именка	Спецификација
Температурата на плочата е рамномерна	Одржи Направи	Температура Рамномерна темп.	80-120 °C ± 5°C
Оди мазно по материјалот и може да пегла на тесен простор	Овозможи Овозможува	лесно лизгање на Плочата Прецизност	< 1 kg Околу копчиња
Тежината е соодветна и се распоредува по целата плоча	Издржи	Притисок	1-1,5 kg
Бргу постигнува температура	Забрза	Загревање	< 100 сек
Континуирано пушта пареа	Создава	Пареа	> 15 минути
Лесно се прекопчува на со и без пареа	Прекопча	Со пареа, суво	Многу пати
Работи на струја	Снабде	Електрична струја	220V 50 Hz

Способноста да се напишат добри инженерски спецификации е доказ дека тимот добро го разбира проблемот. Постојат повеќе методи за генерирање на инженерските спецификации. Една од најдобрите и најпопуларните методи за генерирање на инженерските спецификации е наречена "развој на функцијата на квалитет" (QFD - Quality Function Development). QFD е развиен во Јапонија во средината на '70-тите, а воведен во САД кон крајот на '80-тите. Со помош на овој метод Тојота успеала да ги скрати трошоците за воведување на нов модел за 60%, а времето за развој на нов модел да го намали за 33%. Овие резултати биле постигнати заедно со зголемување на квалитетот на производите. QFD методот бара време и посветеност. Поради неговата ефективност, добро е овој метод да се примени уште на почетокот на конструирањето. Основни препораки за примена на овој метод се:

1. QFD методот треба да се примени при развој на нова конструкција или при подобрување на постоечка конструкција при што се додаваат нови функции, независно од тоа колку добро конструкторскиот тим го

2. Барањата на купувачите мора да се преточат во мерливи големини на одредени критични параметри. На пр., не може да се конструира врата од возило што "лесно се отвара", ако не се дефинира што се подразбира за "лесно". Ако се мисли на мала сила за отворање, треба да се одреди дали силата да биде 20N или 40 N или друго.



Сл. 6.1. Фазиие на разработка на инженерски спецификации [Ullman'97]

3. QFD методот може да се примени на целата конструкција или на нејзини делови.
4. Важно е прво да се одреди што точно треба да се конструира, а дури откако тоа е целосно разјаснето, треба да се размислува како конструкцијата ќе работи и ќе изгледа.
5. Методот бара време, но заштедува време подоцна. Освен што помага да се разбере проблемот, овој метод овозможува да се постават основите за изработка на концептите.

QFD методот овозможува да се генерираат информациите потребни во фазата на дефинирање на инженерските спецификации. Оваа фаза е шематски прикажана со блок-дијаграмот на сл. 6.1. Секој блок претставува чекор од примената на QFD методот.

6.3. Куќа на квалитет

При примена на QFD методот, информациите се организираат во неколку поврзани матрици кои заедно се нарекуваат "куќа на квалитет". На сл. 6.2 се прикажани основните полиња кои ги содржи куќата на квалитет. Броевите на полињата одговараат на редоследот на чекорите на QFD методот.

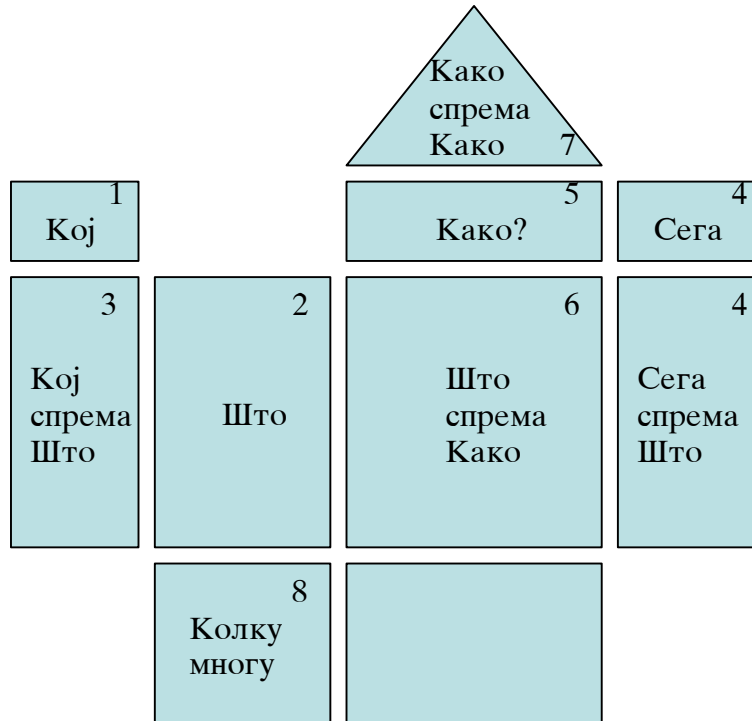
Со примена на чекорите на QFD методот наведени на сл. 6.1 се пополнуваат собите на куќата на квалитет, прикажана на сл. 6.2. Како пример за примената на овој метод анализиран е едноставен производ: заден калбраник за велосипед. Пополнувањето на куќата на квалитет за калбраникот за велосипед (сл. 6.3) започнува со идентификација кои се купувачите (чекор 1) и *што* тие сакаат (чекор 2). При прибирање на овие информациите одредуваме и што кому е важно - *кој сирема што* (чекор 3). Потоа треба да се одреди како проблемот се решава сега (чекор 4), односно која е конкуренцијата за производот кој се конструира. Оваа информација се споредува со тоа што купувачите го бараат - сега спрема што (продолжение на чекор 4). Со тоа се открива кои се можностите за подобрување на производот. Следниот чекор е потежок за пополнување зошто треба да се одреди *како* (чекор 5) ќе се мери погодноста на производот да ги задоволи барањата на купувачите. Притоа треба да се зададат инженерските спецификации. Врските помеѓу инженерските спецификации и барањата на купувачите се задаваат во полето *што сирема како* (чекор 6). Инженерските спецификации може да се споредат и една со друга за да се дефинираат нивните меѓузависности - *што сирема што* (чекор 7). На крај, се одредува колку (чекор 8) и се внесува во долните полиња од куќата на квалитет. Ова поле се споредува со инженерските спецификации за да се одреди како спрема колку многу (продолжение на чекор 8). Деталите за пополнување на куќата на квалитет се дадени понатаму преку пример.

Чекор 1. Одреди ги купувачите: Кои се тие?

Цел на разбирањето на проблемот кој треба да се реши при конструирањето е да се преведат барањата на купувачите во технички податоци за тоа што треба да се конструира. Јапонците велат уште "*Слушај го гласот на купувачите*". Поради тоа, мора најпрво да се одреди точно кои се купувачите. За повеќето конструктивни решенија постои повеќе од еден купувач, за повеќето производи најчести купувачи се потрошувачите, односно луѓе кои ќе го купат производот и ќе им раскажат на други потрошувачи за квалитетот на производот (или за недостатоците).

При конструирањето обично треба да се земе предвид повеќе од една класа на купувачи. Како купувачи може да се сметаат и луѓето од

производниот погон, продавачите и сервисерите. Организациите за стандардизација треба исто така да се сметаат за купувачи, бидејќи и они поставуваат одредени барања за производот. За повеќето производи постојат 5 и повеќе класи на купувачи чиј глас треба да се слушне.



Сл. 6.2. Куќа на квалитет (QFD дијаграм)

Независно од видот на производот, развојот на производот се одвива според желбите на купувачите, а не според замислата на инженерот што купувачите би требало да сакаат.

Главни купувачи во примерот на калбраникот за велосипед се велосипедистите. Велосипедистите може да се класифицираат главно на: страстни возачи на планински велосипед, велосипедисти при убаво време, и сестрани велосипедисти (тие кои возат и на планини и по улици). Установено е дека најчести корисници на калбраникот се сестраните велосипедисти. Како купувачи се земени и механичарите од продавница за велосипеди, бидејќи тие треба да го продаваат и монтираат калбраникот. Како трет корисник е земен маркетингот на компанијата која го произведува калбраникот. За посложени производи може да се земе поголем број на корисници, зависно колку се смета за доволно во дадениот случај. Трите корисници: велосипедист, механичар и маркетинг се внесуваат во полето "Кој", како на сл. 6.3, каде што е прикажана куќата на квалитет за калбраникот.

	Механичар	Маркетинг	Велосипедист	Вода што го плиска возачот (%)	Чекори за закачување (#)	Време за закачување (sec)	Чекори за откачување (#)	Веме за откачување (sec)	Број на делови (#)	Тежина (г)	Купувачи велат добро изгледа (%)	Бои во кои се прави (#)	Велосипеди на кои одговара (%)	Сила за подигање (N)	Цена по која се продава (\$)	Калбраник од Фирма 1	Калбраник од Фирма 2	Кабаница
Функционални карактерист.																		
Брани од вода	1	1	7	9									3		1	4	2	
Брзо се закачува	5	4	8		3	9			3	1					1	4	3	
Брзо се откачува	9	5	10				3	9	3	1					2	4	3	
Се закачува и валкано	7	13	12		3	3									3	3	2	
Се откачува и валкано	11	12	13				3	9							3	3	2	
Човечки фактори																		
Едноставно се закачува	4	6	9		9				3	1					1	3	3	
Едноставно се откачува	10	7	11				9		3	1					1	4	3	
Изгледа цврсто	2	10	2								9				4	2	2	
Бојата одговара на Велосипедот	12	11	5								3	9			3	2	2	
Врската со велосипедот																		
Одговара на велосипедот	3	3	3									9			3	2	4	
Не го оштетува точакот	8	8	6										1		3	1	4	
Лесна	6	9	4				9								3	3	4	
Добра цена	13	2	1											9	2	3	1	
Калбраник од Фирма 1				25	5	25	2	5	6	130	75	5	94	5	12			
Калбраник од Фирма 2				0	3	5	1	3	2	140	65	1	65	15	15			
Кабаница				30	3	10	3	10	1	100	35	4	100	0	20			
Цели				0	1	2	2	3	2	130	85	5	95	5	10			

Сл. 6.3. Куќа на квалитетот за калбраник

Чекор 2. Одреди ги барањата на купувачите: што сакаат купувачите?

Секој од потрошувачите има свои барања за калбраникот. Обично, купувачите сакаат производ што работи како што треба, има долг век на траење, лесно се одржува, изгледа атрактивно, ја користи најновата технологија и има многу можности.

Обично кога производителот го сметаме за купувач, тој бара производ кој може лесно да се изработи (обработи и монтира), користи достапни ресурси (опрема, суровини, знаење), користи стандардни делови и методи, ги користи постојните погони и при производството прави минимум отпад и шкарт.

Маркетингот како клиент бара производ кој едноставно се пакува, складира, транспортира, е атрактивен и е погоден за прикажување.

Нашата цел е не само да се задоволат купувачите, туку и **да се восхитат** така што да го купат производот и да го препорачаат на други. Исполнувањето на барањата кои предизвикуваат восхит кај купувачот ("уау" барања) придонесува за успех на производот на пазарот. Со време, барањата кои предизвикуваат восхит стануваат вообичаени барања.

Прибирањето на информации од купувачите се врши воглавно на три начини: *со следење, распрашување и со целни групи*. Многу од новите производи се подобрување на претходните производи, така што многу информации може да се добијат со следење на купувачот при примената на производот. Распрашувања и прашалници се користат кога треба да се добие мислењето на купувачите за добро дефиниран проблем. За развој на оригинален производ или за прибирање на идеи од купувачите за подобрување на производот, најдобро е да се користат целни групи. Формирањето на целна група се врши со одредување на 7 до 10 потенцијални купувачи кои сакаат да доаѓаат на состаноци и да разговараат за производот. Подолу се дадени неколку прашања подготвени од тимот за развој на калбраник за велосипед со цел да се направи интервју на целна група составена од планински велосипедисти.

Колку често возите точак за на планина? (Заокружи го бројот пред твојот одговор)

1. Никогаш
2. Еднаш месечно
3. Еднаш неделно
4. 2-5 пати неделно
5. 6-10 пати неделно
6. Повеќе од 10 пати неделно

Колку често го возите својот планински велосипед надвор од пат? (Заокружи го бројот пред твојот одговор)

1. Никогаш
2. Еднаш месечно
3. Еднаш неделно
4. 2-5 пати неделно
5. 6-10 пати неделно
6. Повеќе од 10 пати неделно

За што го користиш својот планински велосипед? (Заокружи ги сите намени за кои го користиш велосипедот)

1. Возење вон од пат
2. Возење до работа или до училиште
3. Шетање
4. Купување
5. Друго _____

Претпостави дека можеш да додадеш уред на својот велосипед кој ќе го користиш за возење по улица при дождливо време. Кое од следниве барања е најважно за тебе (подреди ги од 1 до 6) ?

- _____ да останеш сув
- _____ мала тежина
- _____ едноставно закачување и откачување
- _____ атрактивен изглед
- _____ цврстина

Со интервју на сестраните велосипедисти и механичарите се добиени барања кои се групирани според видот и внесени во полето Што? од куќата на квалитет на сл. 6.3. Важна е комплетноста на барањата, која не може да се постигне само со интервју, туку е потребна доработка од страна на тимот за развој на производот. Притоа може да се користат општи критериуми за квалитет (на пр. според Garvin).

Чекор 3. Одредување на релативната важност на барањата: Кој спрема Што

Следниот чекор од QFD методот е да се оцени важноста на барањата за купувачите. Тоа се постигнува со одредување на тежински фактор за секое барање. Ова рангирање на барањата по важност дава идеја колку време и средства треба да се вложат за постигнување на одредени барања. Притоа, треба да се одговораат следните прашања: (1) Кому му е важно барањето? и (2) Како да се мери важноста на различни групи на барања?

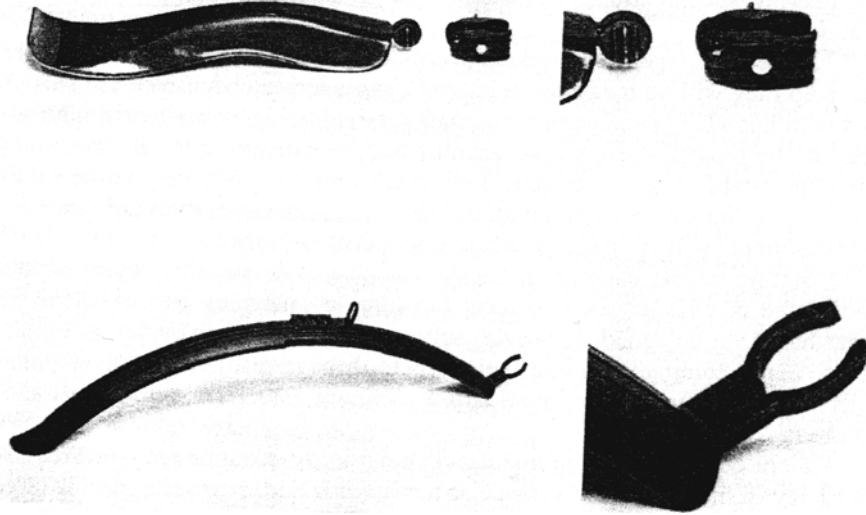
Бидејќи конструкцијата е добра само ако купувачите сметаат дека е добра, одговорот на првото прашање е секако - купувачот. Притоа треба да се има предвид дека производот може да има повеќе класи на купувачи.

Барањата може да се рангираат на повеќе начини. Во примерот на калбраникот, на членовите на целната група им е дадена листата на барања и им е кажано да ги подредат по редослед на важност за секој од нив (на пример, најважното барање е со број 1, и потоа се редат другите според важност). Поединечните барања може да се напишат на парчиња хартија и да се бараат тие да се подредат. Барањата кои се сметаат за неважни може да се остават без број. Оценувањето на важноста на поедини критериуми за калбраникот според оценката на трите корисници е прикажано на сл. 6.3.

Чекор 4. Одредување и оценување на конкуренцијата: Колку е задоволен Сега купувачот

Во овој чекор, целта е да се одреди како купувачите ја оценуваат способноста на конкуренцијата да го задоволи секое од нивните барања. На пример, конкуренција на новиот калбраник се други два калбраника кои сега се продаваат (сл. 6.4) и кабаница за дожд.

Целта на проучување на постоечките производи е двојна: прво, така се здобиваме со сознанија за постоечките производи ("сега") и второ, се разоткриваат можностите за подобрување на постоечките решенија. Во некои компании овој процес се нарекува "споредување на конкуренцијата" и претставува еден од главните аспекти на разбирање на конструктивните проблеми.



Сл. 6.4. Постоечки калбраници

Ској конкурентски производ треба да се спореди со барањата на купувачите (сега спрема што). Во примерот на калбраникот се користи само субјективна оценка според мислењето на купувачите. Подоцна, во чекор 8 е направена пообјективна оценка. За секое од барањата на купувачите, се дава оценка на конкурентскиот производ според скала од 1 до 5:

1. Конструкцијата воопшто не го исполнува барањето.
2. Конструкцијата само малку го исполнува барањето.
3. Конструкцијата донекаде го исполнува барањето.
4. Конструкцијата воглавно го исполнува барањето.
5. Конструкцијата целосно го исполнува барањето.

Иако оценувањето е само описно, сепак се добива индикатор за тоа како купувачите ја оценуваат конкуренцијата.

Овој чекор е многу важен бидејќи се согледуваат можностите за подобрување на производот. Ова е особено важно ако наведеното барање во чекор 3 е означено како многу важно од страна на купувачот. Ако некој од конкурентските производи целосно ги исполнува најважните барања, тогаш тој треба детално да се проучи и од него треба да се земат добрите идеи (со внимание на заштитата на патентите). Проучувањето на конкурентските производи е добра пракса за конструкторот.

Конкуренцијата на новиот калбраник се двата постоечки калбраника прикажани на сл. 6.4 и кабаницата за дожд. Првиот калбраник е изработен од бризгана пластика. Тој се закачува со дводелна штипка која е обликувана така што при завртување на завртка едновременно се прицврстува за рамот од велосипедот и се стега сферниот завршеток на калбраникот. Сферниот завршеток овозможува поставување на калбраникот во различни положби. Вториот калбраник е исто така изработен од бризгана пластика. При монтажа, калбраникот се прицврстува со два лака (на крајот од браникот) кои ускокнуваат на рамот од велосипедот, а средината на браникот се лизга вметата во метален држач закачен со завртка на задните кочници. За да се оценат постојните решенија, користена е фокусна група која ги оценува решенијата. Резултатите се прикажани во полето "сега спрема што" од куќата на квалитет. Ниедно од анализираните решенија не ги исполнува во целост очекувањата на купувачите и постои простор за дефинирање на подобар производ.

Чекор 5: Генерирање на инженерските спецификации: Како да се задоволат барањата на купувачите?

Во оваа фаза, целта е да се одреди множество на инженерски спецификации според барањата на купувачите, односно да се одредат мерливи параметри и нивните вредности. Без да се одредат вакви информации, инженерите не може да знаат дали ги задоволите барањата на купувачите. Параметрите се одредуваат во овој чекор, а нивните вредности се одредени во чекор 8.

Некои од барањата на купувачите се директно мерливи и нема потреба да се анализираат во оваа фаза. Апстрактните барања како "лесно се закачува" треба подетално да се разгледаат и да се одреди како тие ќе се мерат. Се започнува со наведување на колку што е можно повеќе инженерски параметри со кои се одредува спепенот на постигнување на барањата на купувачите. На пример, барањето "лесно се закачува" може да се мери со: 1) бројот на чекори потребни за закачување, 2) времето потребно за закачување, 3) бројот на деловите и 4) бројот на користени стандардни алати. За секој од параметрите треба да постои соодветна мерлива единица, на пр. број на чекори, време, број на делови и број на алати.

Ако не постојат мерливи инженерски параметри за дадено барање од купувачите, тогаш барањето не е добро разбрано. Овој проблем може да се реши со расчленување на барањето на повеќе помали барања.

Множество на инженерски спецификации за калбраникот се дадени на сл. 6.3 веднаш под кровот.

Чекор 6: Поврзи ги барањата на купувачите со инженерските спецификации: како да се мери што?

Во овој чекор се пополнува централниот дел на куќата на квалитет. Во полињата се внесува дали и колку одреден инженерски параметар се однесува на одредено конструктивно барање. Некои параметри се користат за мерење на повеќе барања на купувачите. Еден параметар може да има различен

степен на влијание врз различни барања на купувачите. Влијанието може да се оцени со броеви, на пример:

9 = силно влијае,

3 = средно влијае,

1 = слабо влијае,

Празно = воопшто не влијае

Чекор 7: Одредување на зависностите помеѓу инженерските спецификации

Инженерските спецификации може да зависат една од друга. Овие зависимости се внесуваат во врвот на куќата на квалитет, така што може да се забележи дека при промена на вредноста на една спецификација може да дојде до позитивна или негативна промена на друга.

Во врвот на куќата на квалитет се ставаат соодветни броеви 9, 3, 1 со кои се оценува интензитетот на заемната поврзаност на одредени инженерски параметри, односно се остава празно ако нема ваква зависност. Броевите означуваат: 9-многу, 3-средо и 1-слабо зависи. На пример, времето за закачување многу зависи од бројот на чекори потребни за закачување.

Чекор 8: Одредување на вредностите на инженерските параметри: колку е доволно?

Последен чекор на QFD методот е да се одредат вредностите на секој инженерски параметар. Според постигнувањето на овие вредности се оценува во која мера производот ги задоволува барањата на купувачите. Во овој чекор се извршуваат две активности. Во првата активност се одредува колку конкуренцијата ги исполнува инженерските спецификации, а во втората се одредуваат спецификации кои треба да ги исполнува новиот производ.

Тоа подразбира земање на примероци на конкурентски производи и извршување на мерења врз нив, на ист начин како што мерењата треба да се вршат кај новиот производ.

При поставување на целите за новиот производ може да се предвидат граници на дозволени отстапувања, на пример, $\pm 10\%$. Целите мора да бидат реалистични.

Ако поставената целна вредност е многу различна од вредностите постигнати од конкуренцијата, треба да се запрашаме: Што е тоа што ние го знаеме а конкурентите не? Дали ние имаме на располагање нова технологија или нови концепти, или сме поумни од конкуренцијата?

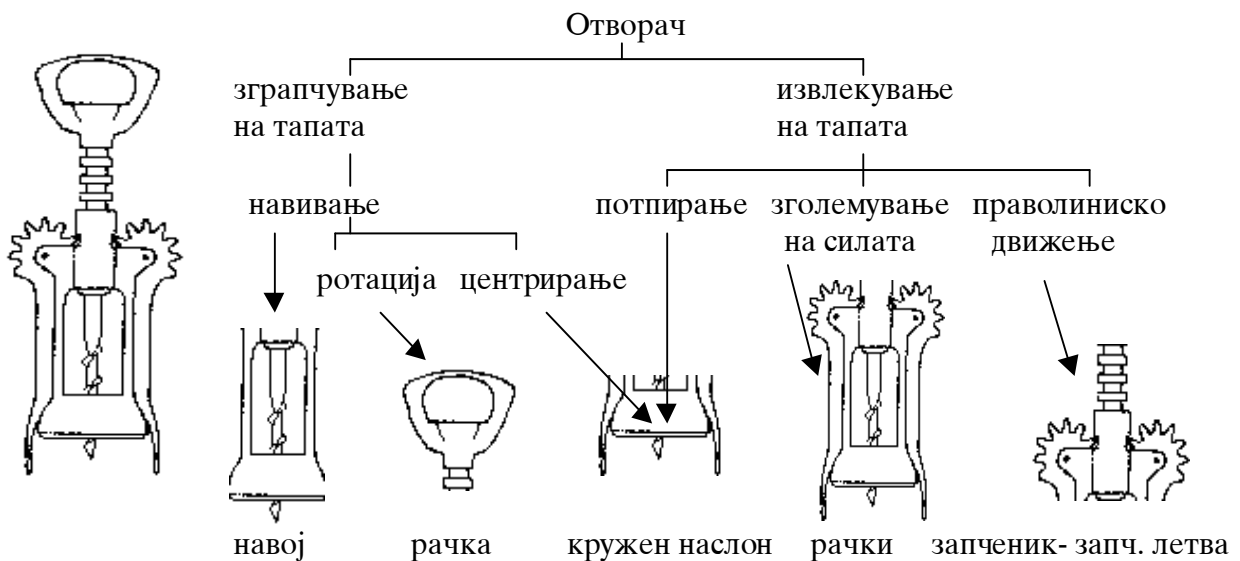
За калбраникот целите се поставени по анализа на конкурентските производи. Тимот сметал дека може да најде подобро решение отколку конкуренцијата за намалување на бројот на чекори за закачување на производот и поставил за цел помал број на чекори за закачување од другите. Ова е направено затоа што тимот сметал дека ова е можност за подобрување на производот, така што калбраникот да се закачува во еден чекор. Притоа се брои само вадењето на калбраникот, а не на подлогата за која се закачува. За другите параметри целите се поставени така што да бидат слични на најдобрите вредности остварени од конкурентите.

7. АКСИОМАТСКИ МЕТОД И ПОДЕЛБА НА ФУНКЦИИ

7.1. Функционални карактеристики и поделба на функции

Конструктивната задача може да се подели на подзадачи, со помош на **декомпозиција**, што претставува процес на **поделба на системот во помали функционални елементи**. Начинот на поделба на функционални елементи и зависностите помеѓу нив имаат големо влијание врз насоките по кои ќе се бараат решенијата. Еден од методите за декомпозиција е **аксиоматскиот метод** (Suh, 1990), со кој нагледно се претставуваат правилата користени при формирањето на конструкцијата. Овој метод не дава постапка за добивање на конструкција, туку дава начин за разјаснување и уочување на функциите на производот и целите кои треба да ги исполнува конструкцијата. Претходник на аксиоматскиот пристап е **методот на функционална анализа** кој се занимава со хиерархиска поделба на посложените функции во поедноставни функции. На сл. 7.1 е прикажано дрвото на функциите за отворувач на шишиња со тапи од плута. Двете основни функции: фаќање на тапата и извлекување на тапата се поделани на помали функции кои се извршуваат со примена на соодветни уреди (рачки, навој, запченик-запчеста летва и др.).

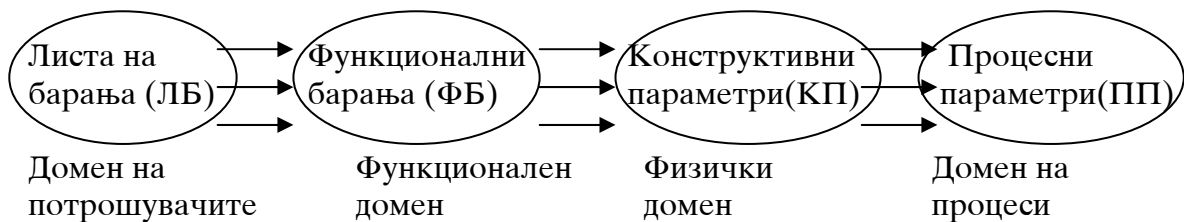
Во продолжение е појаснет **аксиматскиот метод** кој **во себе ги содржи методот на функционална анализа и аксиомите за добра конструкција**. Аксиоматскиот метод овозможува на компактен визуелен начин да се претстави намерата на конструкторот и севкупната цел на конструирањето. Од голема важност е да се документираат различни етапи од процесот на конструирањето и причините за донесување на поважните одлуки и решенија. Тука спаѓаат: функционалните барања за кои е конструиран производот, логиката за избор на одредени уреди или процеси на изработка. Овие документи се важни за подоцнежните промени и подобрувања на конструкцијата, како и за документирање на знаењата сврзани за конструкцијата.



Сл.7.1. Дрво на функциите за отворувач на шишиња со тапи од плута

7.2. Домени и пресликувања

За време на процесот на конструирањето, објектот на конструирањето минува низ четири домени на претставување (Suh, 1990), како што е прикажано на сл.7.2. Овие четири домени се наречени: **домен на потрошувачите, функционален домен, физички домен и домен на процеси**. Во секој од овие домени производот е претставен на различен начин. Во првиот домен производот е претставен преку листа на барања на купувачите (ЛБ), во вториот со множество од функционални барања (ФБ), во третиот домен со множество на конструктивни параметри - уреди (КП) и во четвртиот домен производот е претставен со множество процесни променливи (ПП).



Сл.7.2. Домени на конструирањето

За да се објасни аксиоматскиот метод, потребно е да се разберат следните ознаки и дефиниции. **Функционални барања (ФБ) се дефинираат како минимално множество од различни независни барања, кои целосно ги карактеризираат целите на конструирањето за разгледуваниот случај.** Тие треба да бидат независни едно од друго во секое ниво на хиерархијата на конструирањето. **Конструктивни параметри (КП) означуваат физички единици (уреди) кои ќе бидат создадени во процесот на конструирањето за да се исполнат функционалните барања.** Со други зборови, со функционалните барања се опишува која функција или низа од функции треба да ги поседува производот за да се задоволат барањата на купувачот, а конструктивниот параметар е физичка единица (модул, дел) кој мора да се создаде за да се исполни дадено функционално барање. **Процесните параметри се процесите за изработка** кои ни стојат на располагање за изработка на производот во претпријатието, како и процесите кои евентуално би ги вовеле со набавка на нова опрема.

Функционалните барања се задаваат во функционалниот домен и се претставуваат независно од изведбата на конструкцијата. Терминот независно од изведбата значи дека се избегнува давање на било какви претходни идеи околу тоа што најдобро би ја извршувало функцијата. Функционалните барања се претставуваат на едноставен начин без да укажуваат или подразбираат примена на одредени уреди и процеси.

Како пример за **независност на функциите**, може да послужи случајот кога радијални и аксијални сили треба да се пренесат со пар лежишта. Комбинацијата прикажана на сл. 7.3а се состои од игличесто лежиште кое треба да ги пренесува радијалните сили, и топчестото лежиште кое треба да пренесува аксијални сили. Меѓутоа, прикажаното решение не кажува јасно кое лежиште ќе ги пренесува радијалните сили, бидејќи двете лежишта се прикрупени радијално и можат да пренесуваат сили во тој превец. Поради тоа, не можат со сигурност да се определи големината на силите во лежиштата и не може точно да се пресмета

векот на траењето на лежиштата. Распоредот на лежиштата прикажан на сл. 7.3б, ги дава саканите резултати во смисол на независност на функциите на двете лежишта, па ако постои доволен радијален зјај во аксијалното лежиште по монтажата, тоа ќе пренесува само аксијални сили.

За илустрација на терминот **независно од изведбата**, може да се разгледа славината со две крушки за топла и ладна вода. Цел на конструкцијата е да се овозможи континуиран проток на вода во количество по желба и со температура по желба. Минималниот број на функциите е две: регулација на проток и регулација на температура. Овој систем може да се претстави на пример со:

(ФБ)₁ = Остварување на одреден проток

(ФБ)₂ = Остварување на одредена температура

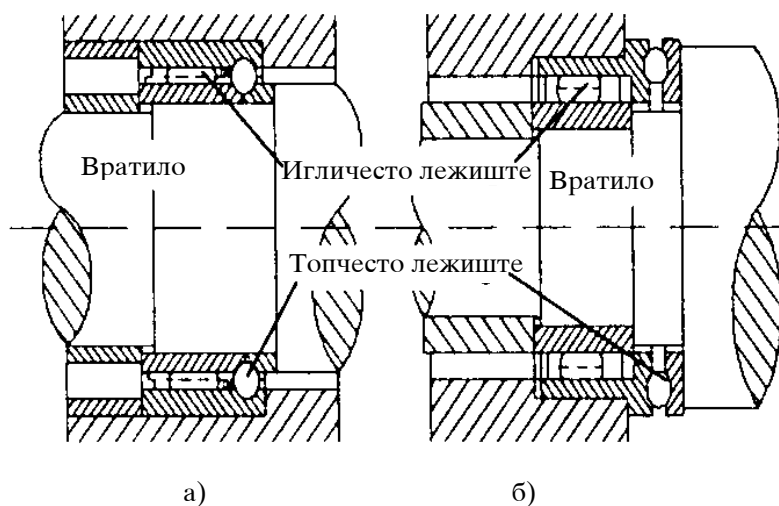
и

(КП)₁ = Уред за регулација на протокот на топла вода

(КП)₂ = Уред за регулација на протокот на ладна вода

Се забележува дека во овој пример проблемот не е поставен на начин кој е независен од решението, зошто кај конструктивните параметри проблемот е зададен така што се сугерира дека треба да има две независни регулации, една за топла и една за ладна вода, што не мора да биде така. Точниот начин на претставување на овој проблем е даден во поглавие 7.7.

Функционалните барања имаат ограничувања кои мора да се задоволат. Тоа можат да бидат ограничувања на големината, тежината, материјалот, цената, обликот, капацитетот и др. Кај примерот со славината ограничувања се максималниот проток на топла и ладна вода и интервалот на температурите.

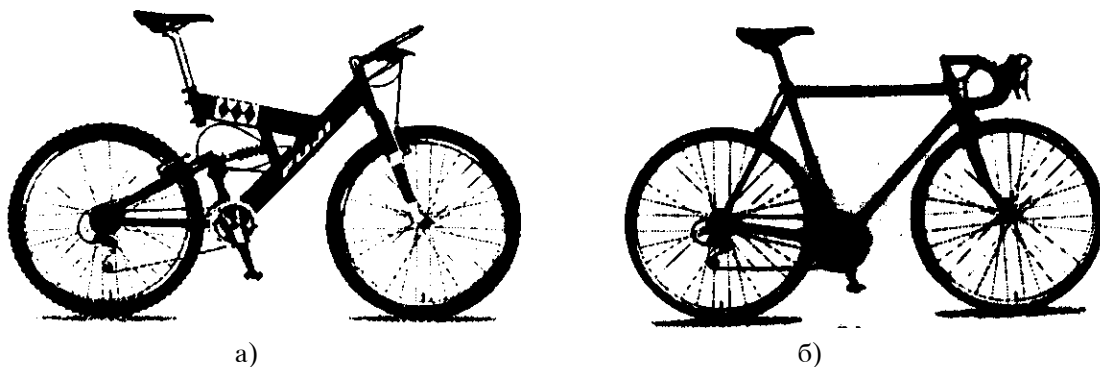


Сл.7.3. Распоред на игличесто и топчесто лежиште кои треба да пренесат радијална и аксијална сила а) функционално зависен б) функционално независен

Ефектот на ограничувањата врз конструкцијата не може да се занемари. На сл.7.4 се дадени две конструкции на велосипед, првиот за трки, а вториот за возење по планина. Функционалните барања за двата велосипеда се исти: да го придржува возачот, да се движи со педали, да се управува и да кочи. Ограничувањата за тркачкиот велосипед се одредуваат за услови на рамен пат и големи брзини. За точакоот за возење по планина ограничувањата произлегуваат од потребната за добро маневрирање и искачување по различни видови терен.

Разликите се зпазуваат насекаде, кај гумите, рамката, вилушките, седиштето, воланот и педалите.

Друг пример за влијанието на ограничувањата е автомобилот Хонда Сити кој е сличен со Хонда Сивик, но е наменет за пазарите во Азија. Таму патиштата се слабо одржувани и имаат доста дупки. Поради тоа, ова возило е повисоко за 3 cm од земја, компјутерот за контрола на моторот е поставен повисоко за да се заштити од вода за време на дождовната сезона, системот за потпирање е поедноставен зошто брзините на лоши патишта се пониски, додека системот за управување е прилагоден за полесно вртење низ тесни улички. Овој модел нема греење и одмрзнувач на задно стакло.



Сл.7.4. Разлика на производије поради разлики во оѓраничувањата: а) велосијед за на џланина и б) џркачки велосијед

7.3. Аксиоматски метод

Во практика, функционалните барања се дефинираат за да се задоволат барањата на купувачот сумирани во листата на барања. Решението се добива преку трансформација на барањата на купувачот низ четирите етапи на реализацијата на производот: **дефинирање на листата на барања, одредување на функциите, оформување на конструктивно решение и проектирање на процеси за изработка**. Кога потребите на купувачот се јасно поставени и се одредени функционалните барања за нивно задоволување, се создаваат идеи за конструкцијата на производот. Производот потоа се анализира во однос на поставените барања. Доколку производот не ги задоволува во целина поставените барања, треба да се дојде до нова идеја за да се доближи до барањата, или пак целите треба да се прилагодат на можните решенија. Овој интеративен процес се одвива се додека не се добие задоволително решение.

Според аксиоматскиот метод, постојат две аксиоми кои водат кон добра конструкција:

Аксиома 1. Аксиома за независност.

Функционалните барања треба да се независни во секоја етапа на процесот на конструирањето.

Аксиома 2. Аксиома за информациите

Количеството информации кои ги содржи конструкцијата треба да се сведе на минимум.

Аксиомата 1 ги разгледува односите на функционалните и физичките променливи. **Аксиомата 1** кажува дека на едно функционално барање треба да одговара еден конструктивен параметар (уред). Аксиомата 1 значи и дека **кај оптималната конструкција функционалните барања се заемно независни**. Независноста на функциите овозможува модуларност, односно при промена на една од функциите треба да се промени само уредот кој ја извршува таа функција.

Аксиомата 2 се однесува на сложеноста на конструкцијата. Таа вели дека **помеѓу сите конструкции кои ја задоволуваат Аксиомата 1, конструкцијата која може да се опише со најмало количество информации е најдобра**. Помало количество информации ќе имаат конструкциите кај кои: бројот на функционалните барања и ограничувања е минимален, деловите се интегрирани и притоа ја сочувуваат независноста на функциите, се користат стандардни и изменливи делови и се применува симетрија колку е можно. Количеството информации може упросто да се оцени преку бројот на делови вградени во конструкцијата или преку бројот на зафати потребни за да се изработи конструкцијата.

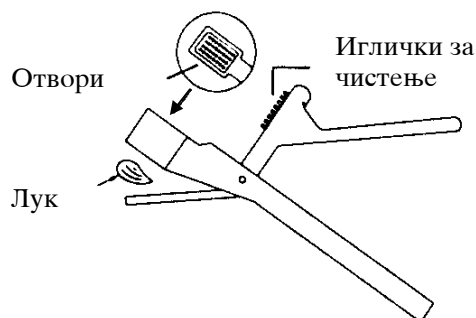
Количеството информации и сложеноста на конструкцијата се заемно поврзани. **Сложеноста на конструкцијата** зависи од: 1) бројот на деловите; 2) бројот на врски и поврзувања помеѓу деловите; 3) бројот на различни видови делови; 4) бројот на функциите кои треба да ги извршува производот и.т.н.

Независноста на функциите не значи и физичка независност. Физичката поврзаност често пати е пожелна како последица од Аксиомата 2. Интегрирањето на повеќе функции во еден дел, доколку функциите остануваат независни, обично ја намалува сложеноста. Како пример може да се разгледа пресата за лук дадена на сл.7.5, кај која уредот за отстарнување на лукот од пресата е интегрален дел на рачката. Функционалните барања се:

(ФБ)₁ = Пресување на лук

(ФБ)₂ = Чистење на пресата

Бидејќи двете функции се заемно независни, корисникот може да ги примени функциите по било кој редослед.



Сл.7.5. Пример за интеграција на функции: преса за лук каде рачката служи за пресување лук и за чистење на пресата

7.3.1. Математичко претставување на аксиомата 1

Векторот на функционалните барања {ФБ} и векторот на конструктивните параметри {КП} можат да се претстават:

$$\{\Phi Б\} = \begin{Bmatrix} (\Phi Б)_1 \\ \dots \\ (\Phi Б)_n \end{Bmatrix} \quad \{\text{КП}\} = \begin{Bmatrix} (\text{КП})_1 \\ \dots \\ (\text{КП})_n \end{Bmatrix}$$

Процесот на конструирање содржи избор на множество конструктивни параметри кое ја задоволува **конструктивната равенка**:

$$\{\Phi Б\} = [A] \{\text{КП}\}$$

каде $[A]$ е **конструктивната матрица** одредена со коефициентите A_{ij} :

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix}$$

Векторот $\{\Phi Б\}$ го претставува множеството на функционалните барањата кои треба да се исполнат, а $[A] \{\text{КП}\}$ се начините на кои се планира да се задоволат функционалните барања. Докажано е дека бројот на функционалните барања мора да е еднаков со бројот на конструктивните параметри (уреди). Членовите на матрицата $[A]$ можат да ги имаат следните значења: 1) ако нема релација помеѓу одредено $\Phi Б$ и КП се става 0; 2) ако постои релација помеѓу одредено $\Phi Б$ и КП , а релацијата не мора прецизно да се определи се става x ; 3) ако постои релација помеѓу одредено $\Phi Б$ и КП и релацијата е добро позната се става равенката на релацијата.

Постојат три вида решение на конструктивната задача. Првиот вид решение е она кое ја задоволува Аксиомата 1 и се добива кога $[A]$ е **дијагонална матрица**. Ваквото решение се вика **независно решение**. За случај кога $n = 3$,

$$\begin{Bmatrix} (\Phi Б)_1 \\ (\Phi Б)_2 \\ (\Phi Б)_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (\text{КП})_1 \\ (\text{КП})_2 \\ (\text{КП})_3 \end{Bmatrix}$$

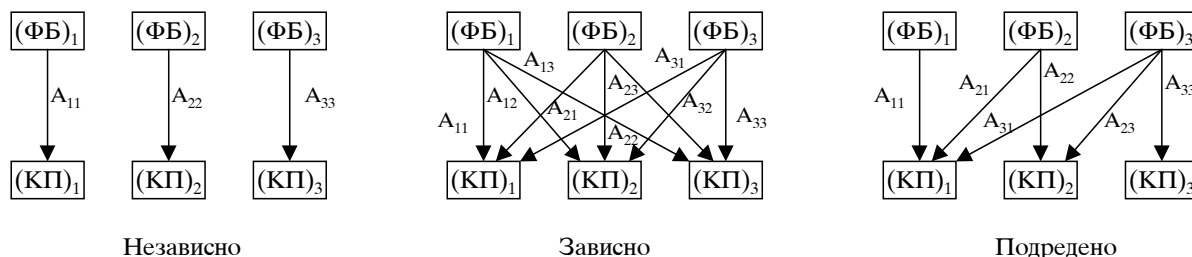
Вториот вид решение воопшто не ја почитува Аксиомата 1. Ваквото решение се нарекува **зависно решение**. Во овој случај:

$$\begin{Bmatrix} (\Phi Б)_1 \\ (\Phi Б)_2 \\ (\Phi Б)_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (\text{КП})_1 \\ (\text{КП})_2 \\ (\text{КП})_3 \end{Bmatrix}$$

Третиот вид решение се добива ако независноста на поедините $\Phi Б$ може да се постигне само за одреден редослед на остварување на функционалните барања. Во овој случај е задоволена Аксиомата 1. Овој вид решение се вика **подредено решение** и неговата матрица е триаголна.

$$\begin{cases} (\Phi B)_1 \\ (\Phi B)_2 \\ (\Phi B)_3 \end{cases} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{cases} (KP)_1 \\ (KP)_2 \\ (KP)_3 \end{cases}$$

Трите вида решение се прикажани со дијаграми на сл. 7.6.



Сл. 7.6. Графичко претставување на три вида конструктивно решение

7.4. Примери на примена на аксиоматскиот метод

Постојат две важни причини за примена на аксиоматскиот метод. Првата причина е способноста на методот за структурно претставување на целите на конструирањето, со цел да се запази независноста на функциите. Структурата на предвидената конструкција се претставува хиерархиски, што му овозможува на тимот јасно да ги постави целите на конструирањето, кои треба да ги задоволат барањата на купувачите. Втора причина е што со конструктивните параметри се задава *што* точно треба да извршуваат поедини уреди кога ќе бидат реализирани. Пожелно е функционалните барања и конструктивните параметри да се претстават прегледно и на повеќе нивоа од хиерархијата, без да се кажува како истите ќе бидат реализирани.

Како што беше претходно напомнимо, цел на конструирањето на славината за вода е да се овозможи континуиран проток на вода во количество по желба и температура по желба, при што топлата и ладната вода се доведуваат засебно. Славината со две крушки со помош на аксиоматскиот метод може да се претстави со:

- (ФБ)₁** = Овозможи регулација на проток на вода
- (ФБ)₂** = Овозможи регулација на температура на вода
- (КП)₁** = Уред за регулација на проток на ладна вода
- (КП)₂** = Уред за регулација на проток на топла вода

Конструктивната равенка е дадена со:

$$\begin{cases} (\Phi B)_1 \\ (\Phi B)_2 \end{cases} = \begin{bmatrix} x & x \\ x & x \end{bmatrix} \begin{cases} (KP)_1 \\ (KP)_2 \end{cases}$$

Оваа равенка го илустрира функционирањето на славината со две крушки, каде за да се оствари саканиот проток и температура на водата, мора едновремено или малку по малку да се подеси количеството на топла и количеството на ладна вода. Со други зборови, дворачната славина е зависен систем. Според аксиоматскиот метод подобри решенија се добиваат кога

конструктивната задача се формулира независно од конструктивното решение. Функционалните барања остануваат исти. Меѓутоа, конструктивните параметри треба да се формулираат без да се одредува како тие ќе бидат реализирани, како:

(КП)₁ = Уред за регулација на проток на вода

(КП)₂ = Уред за регулација на температура на вода

Конструктивното решение во физичкиот домен мора да ги задоволи претходно зададените услови. Конструктивната равенка тогаш е:

$$\begin{Bmatrix} (\Phi B)_1 \\ (\Phi B)_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} x & o \\ o & x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (КП)_1 \\ (КП)_2 \end{Bmatrix}$$

Оваа конструктивна равенка кажува дека целта на конструирањето е да се овозможи промена на температурата на водата независно од количеството на водата.

Пример за тоа како функционалните барања можат да станат независни е и плотерот (машина за цртање) на Hewlett-Packard. Во периодот на нивната појава на пазарот, повеќето плотери биле конструирани така да го движат перото на плотерот во x и y насока, при што моторот за движење на перото во x-насока требал да ја движи рамката на која е поеставен моторот за движење на перото во y-насока. Бидејќи механизмот бил прилично масивен биле потребни јаки мотори за негово брзо движење по цртежот. Конструкторите на Hewlett-Packard установиле дека нема потреба двете движења да ги врши перото. Наместо тоа, тие решиле движењето по едната оска да го прави хартијата, а движењето по другата оска перото. Перото кај поновите плотери се движи само лево-десно, а хартијата горе-долу. Бидејќи хартијата е со мала тежина, за нејзино движење се потребни послаби мотори и притоа може да се движи побргу. Резултат од оваа измена се брзи и евтини плотери.

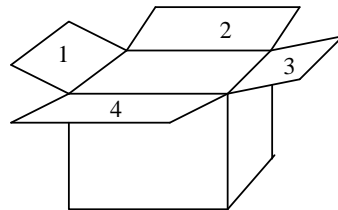
Пример за постигнување на независност на функциите се и современите текст-процесори (Word, Word Perfect). Со нив може да се промени видот на буквите (кирилица, латиница), големината на буквите (4 - 48 точки) и ликот на буквите (здебелени, наведнати) за секоја буква поодделно.

Треба да се прави разлика помеѓу функционалната независност и физичкото интегрирање на носителите на одделни функции. Како пример може да послужи вратата на автомобилот. Вратата поседува уред за отворање и затворање, прозорец со неговиот механизам за отворање и затворање, звучници и потпирач за рака. Секој од овие системи може да се користи независно еден од друг и независно од тоа дали вратата е отворена или затворена. Освен ова вратата и дава цврстина на конструкцијата на автимибилот, заштитува од дожд и бучава и придонесува за естетскиот изглед на автомобилот.

Пример 1. Систем за лепење картонски кутии

Системот треба да овозможи лепење кутии чии димензии можат да се менуваат во одредени граници. Типична картонска кутија е прикажана на сл.7.6 . Пред да стасаат до системот за затворање, кутиите не мора да се прецизно ориентирани во хоризонталната рамнина, но отворената страна на кутијата треба да е секогаш горе. Кутијата треба да се насочи така што прво да се затворат страниците 1 и 3 а потоа страниците 2 и 4. Кутиите доаѓаат до системот за лепење

движејќе се по хоризонтална транспортна лента. Кутиите кои пристигаат до системот се на различно растојание една од друга.



Сл.7.6. Ознаки на елементите на картонска кутија

Треба да се одреди конструктивната равенка врз основа на која може да се развие фамилија системи за затворање и лепење кутии. Општото функционално барање е:

- (ФБ)₁ = да се развие систем за автоматско лепење картонски кутии според ограничувањата дадени во претходниот параграф
- (КП)₁ = уред за лепење на кутиите

На следното ниво на хиерархијата општото функционално барање (ФБ)₁ се дели на четири подетални функционални барања:

- (ФБ)₁₁ = Постави една кутија во системот
- (ФБ)₁₂ = Затвори ги страниците на кутијата
- (ФБ)₁₃ = Залепи ја кутијата
- (ФБ)₁₄ = Отстрани ја кутијата од системот

Соодветните конструктивни параметри се:

- (КП)₁₁ = Уред за поставување една кутија во системот
- (КП)₁₂ = Уред за затворање на страниците на кутијата
- (КП)₁₃ = Уред за лепење на кутијата
- (КП)₁₄ = Уред за отстранување на кутијата од системот

Бидејќи функциите мора да се реализираат по дадениот редослед, решението е подредено и конструктивната равенка е:

$$\begin{Bmatrix} (FB)_{11} \\ (FB)_{12} \\ (FB)_{13} \\ (FB)_{14} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} x & 0 & 0 & 0 \\ x & x & 0 & 0 \\ x & x & x & 0 \\ x & x & x & x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (KP)_{11} \\ (KP)_{12} \\ (KP)_{13} \\ (KP)_{14} \end{Bmatrix}$$

Следното ниво во хиерархијата за (ФБ)₁₁ е:

- (ФБ)₁₁₁ = Ориентирање на кутијата
- (ФБ)₁₁₂ = Пропуштање на една кутија во системот

со соодветни конструктивни параметри:

- (ФБ)₁₁₁ = Уред за ориентирање на кутијата
- (ФБ)₁₁₂ = Уред за пропуштање на една кутија во системот

Конструктивната равенка е:

Следно ниво во хиерархијата за (ФБ)₁₂ е:

$$\begin{Bmatrix} (\Phi B)_{111} \\ (\Phi B)_{112} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} x & o \\ x & x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (KP)_{111} \\ (KP)_{112} \end{Bmatrix}$$

$(\Phi B)_{121}$ = Одржување на ориентацијата на кутијата

$(\Phi B)_{122}$ = Затворање и придржување на страницата 1

$(\Phi B)_{123}$ = Затворање и придржување на страницата 3, додека не почнат да се затвораат страниците 2 или 4

$(\Phi B)_{124}$ = Затворање на стр. 4 и придржување додека се залепи кутијата

$(\Phi B)_{125}$ = Затворање на стр. 2 и придржување додека се залепи кутијата

Една од целите при задавањето на функционалните барања е да се зададе минимален број на функционални барања. Кај овој пример страниците 1 и 3 можат да се затворат едновремено, а исто така и страниците 2 и 4. Според Аксиомата 2 треба количеството информации да се сведе на минимум, па претходните функционални барања можат да се предефинираат како:

$(\Phi B)_{121}$ = Одржување на ориентацијата на кутијата

$(\Phi B)_{122}$ = Едновремено затворање на страниците 1 и 3 и придржување додека не почнат да се затвораат страниците 2 и 4

$(\Phi B)_{123}$ = Едновремено затворање на страниците 2 и 4 и придржување додека се залепи кутијата

Соодветните конструктивни параметри се:

$(KP)_{121}$ = Уред за одржување на ориентацијата на кутијата

$(\Phi B)_{122}$ = Уред за едновремено затворање на страниците 1 и 3 и придржување додека не почнат да се затвораат страниците 2 и 4

$(\Phi B)_{123}$ = Уред за едновремено затворање на страниците 2 и 4 и придржување

Конструктивната равенка е:

$$\begin{Bmatrix} (\Phi B)_{121} \\ (\Phi B)_{122} \\ (\Phi B)_{123} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} x & o & o \\ x & x & o \\ x & x & x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (KP)_{121} \\ (KP)_{122} \\ (KP)_{123} \end{Bmatrix}$$

Следното ниво на функционалното барање $(\Phi B)_{13}$ е:

$(\Phi B)_{131}$ = Лепење на кутијата

$(\Phi B)_{132}$ = Сечење на лепливата лента

а соодветните конструктивни параметри се:

$(KP)_{131}$ = Уред за лепење на кутијата

$(KP)_{132}$ = Уред за сечење на лепливата лента

Конструктивната равенка е:

$$\begin{Bmatrix} (\Phi B)_{131} \\ (\Phi B)_{132} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} x & o \\ x & x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (KP)_{131} \\ (KP)_{132} \end{Bmatrix}$$

Функционалното барање $(\Phi B)_{14}$ нема потреба да се дели понатаму.

При анализа на функционалните барања се забележува дека изразите ”пропуштање една кутија...”, ”придржување на страниците...” и ”придржување додека се залепи...” претставуваат ограничувања на различните функционални

барања. Конструктивните параметри не кажуваат како ќе се задоволи одреденото функционално барање, туку кажуваат каков вид на уред ќе биде потребен. Сите конструктивни равенки во овој пример се подредени.

Според Аксиомата 1 системот за лепење на кутиите треба да е независен од транспортната лента, која ги доведува кутиите до системот. Доколку механизмот за лепење е неподвижен а кутијата се движи во однос на него, може да се отстрани (ФБ)₁₄ и да се комбинира со (ФБ)₁₃.

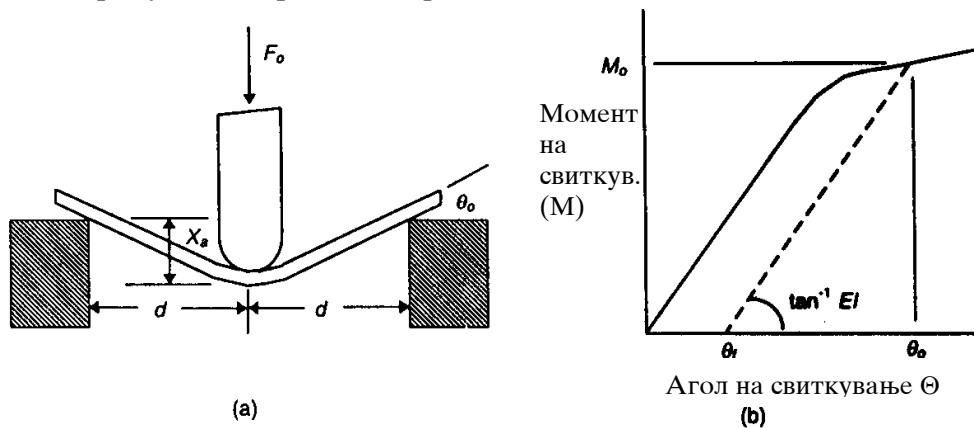
Пример 2. Интелигентна машина за свиткување лимови

Цел на конструирањето е уред кој произведува свиткани метални делови со еднаква дебелина. Дефинирањето на уредот е засновано на физичките закони. Соодветен конструктивен параметар е процесот со кој се произведуваат свиткани делови. Кандидати се процесите на ковање, леене и свиткување на лим. Овде е одбран процесот на свиткување лим. Следното ниво во хиерархијата е:

ФБ = Да се изврши свиткување под агол $\Theta_f \pm \Delta\Theta_f$ за делови од лим, независно од разликите во својствата на материјалите

КП = Систем за создавање и контрола на аголот на свиткување

Процесот на свиткување шематски е претставен на сл.7.7а, а дијаграмот на зависноста на аголот на свиткувањето Θ од моментот на свиткување M е прикажан на сл.7.7б. Моментот M_0 треба да е доволно голем за да предизвика трајни деформации кои одговараат на аголот Θ_0 . На Θ_0 соодветствува поместување X_0 под дејство на силата F_0 . Кога ќе заврши дејството на M_0 поради еластичноста на материјалот се јавува одредено враќање до аголот $\Theta_f < \Theta_0$. На аголот Θ_f одговара поместувањето X_f кое ја претставува трајната деформација во точката каде е применета силата. Од теоријата на свиткување е познато дека $X \sim \Theta \sim F/EI$, $M \sim F$ и оттука, $M/\Theta \sim EI$, каде E е Јунговиот модул на еластичноста а I е момент на инерција на напречниот пресек на делот.



Сл.7.7 а) Изглед на уредој за свиткување, б) зависноста на аголот на свиткување од моментот на свиткување

Според равенките за проста греда добиваме:

$$\begin{aligned}
 M_0 &= F_0 d/2 \\
 \Theta_0 &= \tan^{-1} X_0/d \\
 \Theta_f &= \tan^{-1} X_f/d
 \end{aligned}
 \tag{7-1}$$

Ако се овозможи мерење на силата F_0 и деформацијата X_0 (и X_f) тогаш процесот може да се контролира.

Од сл.7.7б се гледа дека:

$$\tan^{-1} EI = \frac{M_0}{\Theta_0 - \Theta_f} = \frac{F_0 d/2}{\tan^{-1} X_0 / d} \quad (7 - 2)$$

од каде:

$$\Theta_f = \Theta_0 - \frac{M_0}{\tan^{-1} EI} = \tan^{-1} X_0 / d - \frac{F_0 d/2}{\tan^{-1} EI} \quad (7 - 3)$$

Од овие равенки како независни параметри се издвојуваат: M_0 кој е пропорционален на применетата сила F_0 ; EI што зависи од физичките својствена материјалот и димензиите на пресекот на свиткуваниот дел; и Θ_f што е резултантниот агол на свиткување на делот по престанување на дејствувањето на M_0 . Затоа, за да се добие Θ_f потребни се следните три ФБ:

(ФБ)₁ = M_0 (Предизвикување момент)

(ФБ)₂ = Θ_0 (Свиткување до одредена деформација)

(ФБ)₃ = Θ_f (Отпуштање до конечниот агол)

Во овој случај конструктивните параметри не се даваат директно, бидејќи тие зависат од равенката 7-1. Конструктивната равенка за овој случај е:

$$\begin{Bmatrix} M_0 \\ \Theta_0 \\ \Theta_f \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_0 d/2 \\ \tan^{-1} X_0 / d \\ F_0 d / (2 \tan^{-1} EI) \end{Bmatrix}$$

За да се вгради конструктивната равенка во решението, применета е следната постапка. Алатот за свиткување се движи надолу и се применува сила F_0' , која за резултат дава поместување X_0' . Алатот за свиткување се враќа назад при што останува деформацијата X_f' . Овие три големини се мерат и преку равенката се одредува $\tan^{-1} EI$. Потоа повторно се врши свиткување со спора промена на силата F_0 , при што континуирано се следат F_0 и X_0 додека нивните вредности станат соодветни на бараниот агол Θ_f , пресметан според равенката 7-3.

8. ГЕНЕРИРАЊЕ НА КОНЦЕПТИ

8.1. Концепт, распоред, изведба

Во претходното поглавие беше претставен аксиоматскиот метод како средство за поделба на функции. Со овој метод, производот е претставен преку конструктивните параметри кои ги задоволуваат функционалните барања. На пониските нивоа во хиерахијата, конструктивните параметри можат да се замислат како модули или уреди чија намена е да ги задиволат соодветните функционални барања. За да се дојде до крајниот изглед на производот треба да се помине низ следните три фази:

1. **дефинирање концепти и нивно оценување,**
2. **одредување на конфигурацијата** (просторното разместување) на модулите еден во однос на друг, како и компонентите кои ги сочинуваат модулите,
3. **одредување на физичкиот облик (изведбата)** кој одговара на концептите, ограничувањата на модулите и нивната разместеност.

Овие три фази се обично меѓусебно испреплетени и се повторуваат повеќе пати.

Во фазата на оценување на концептите се применуваат едноставни методи на анализа, за да се провери дали секој од концептите може да се реализира и дали ќе се исполнат економските критериуми. Во фазата на развој на производот (конструктивната изведба) се применуваат подетални анализи (каде што треба) и се подготвуваат работилнички цртежи и постапките за изработка и монтажа.

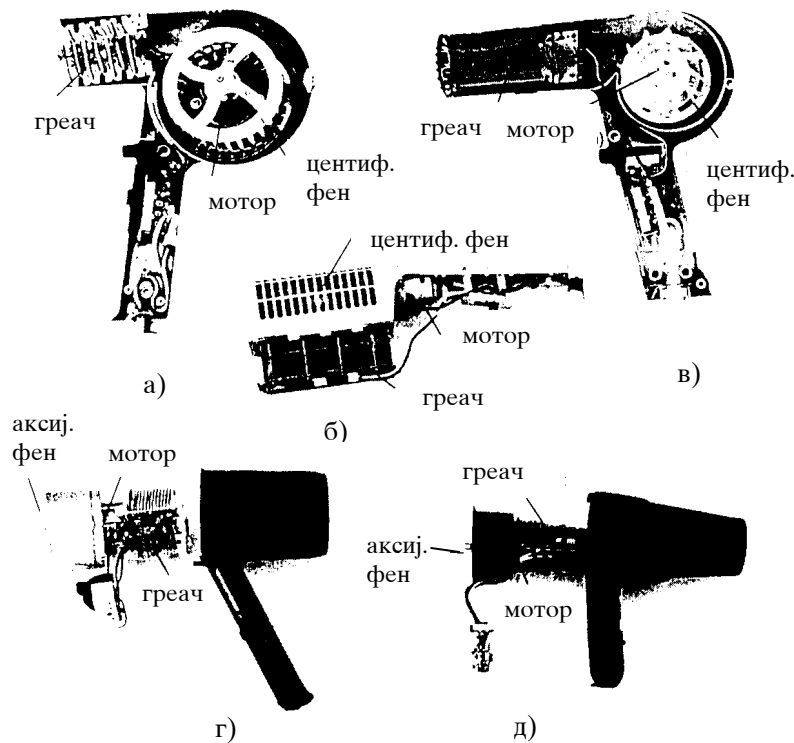
За да се илустрира разликата помеѓу концептот, просторната разместеност, изведбата и нивното заемно влијание, ќе го разгледаме примерот на рачен фен. Функционалните барања се следните: вовлекување воздух, загревање воздух и насочување при испиштање топол воздух. Конструктивната равенка е:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Вовлекување воздух} \\ \text{Загревање воздух} \\ \text{Испуштање воздух} \end{array} \right\} = \begin{bmatrix} x & o & o \\ x & x & o \\ x & x & x \end{bmatrix} \left\{ \begin{array}{l} \text{Уред за вовлекување воздух} \\ \text{Уред за загревање воздух} \\ \text{Уред за испуштање воздух} \end{array} \right\}$$

Конструктивната равенка ги дефинира на апстрактен начин уредите (третата матрица) кои треба да се развијат за задоволување на функциите (првата матрица). Функциите се независни, но нивното извршување е според дадениот редослед, кој треба да се запази и при распоредувањето на уредите. Фенот како систем е општо познат и лесно може да направиме анализа како поединечните функции и структурата е преточни во различни концепти кои резултирале во различни изведби на фенови.

На сл. 8.1 се прикажани неколку различни конфигурации и изведби на фенови од неколку различни производители. Разликите помеѓу феновите потекнуваат од различните концепти за реализација на ситемот и на поодделните функции. Разлики се забележуваат во обликот, видот на фенот, местоположбата и обликот на составните делови, обликот и големината на греачот. Секоја од петте изведби ги има истите функционални модули: греач, електромотор, перка и куќиште за поставување на модулите, кое има два отвора: за влез на ладен воздух и излез на топол воздух. Меѓутоа, изведбата на секој од греачите е различна, како и начинот на поставување и прикрепување на деловите во куќиштето.

Три фена имаат центригугална перка (8.1 а, б и в) и два имаат аксијална перка (сл. 8.1 г и д). Обликот на перката кај двата центрифугални фена се разликува. Феновите со центрифугална перка вовлекуваат воздух од бочна страна на фенот, додека феновите со аксијално поставена перка вовлекуваат воздух од задната страна. Моторот е различен кај три од петте фенови. Кај феновите со аксијална перка моторот е поставен во иста линија со струењето на воздухот, а кај центрифугалните моторот е поставен нормално на струењето. Поставеноста на модулите во однос на линијата на струењето е иста за сите фенови: отвор за вовлекување ладен воздух, перка, греач и излез на топол воздух.



Сл. 8.1. Пет фенови со еднаква функционална структура но со различна конфигурација и физичка реализација на модулиите

8.2. Морфолошки метод за изработка на концепти

Концептот претставува идеја која е доволно разработена за да може да се оценат физичките принципи од кои зависат перформансите. Основна цел при изработката на концепти е да се потврди дека предложениот производ по разработката ќе ги исполни поставените барања. Концептите мора да бидат разработени доволно за да може да се оцени и технологијата потребна за нивна изработка, конфигурацијата (обликот) и донекаде погодноста за изработка.

Концептите може да се претстават со груба скица или дијаграм, прототип, множество ревенки, или текстулани приклучоци. Сепак, при претставувањето на концептите основно е да се разработат доволно детали за да може да се моделираат перформансите, односно да може да се осигури дека идејата ќе функционира.

Постои силна тенденција кај конструкторите да ја усвојат првата идеја и да ја разработат во производ. Ова е многу слаба стратегија, што може да се заклучи од изреката: *Ако генерираш една идеја, идејата е веројатно лоша; ако генерираш дваесет идеи, можеби имаш една добра идеја.* Методите претставени во продолжение се користат за генерирање на многу концепти.

Текот на генерирањето на концептите е претставен на сл.4.1. Како што е претставено, генерирањето и оценувањето на концептите се повторува повеќе пати. Дел од овој циклус е и комуницирањето на информациите за концептите, промената на плановите и декомпозицијата на задачата на помали подзадачи.

Генерирањето на варијанти на концепти базира на функционалната декомпозиција. Понекогаш е подобро да се структурира процесот на изработка на концепти отколку да се генерираат идеи на среќа. **Познат метод за структурирање на просторот на пребарување решенија е морфолошкиот метод, чија цел е за секое функционално барање да се одредат сите разумни конструктивни решенија кои теоретски го задоволуваат барањето.** Овие решенија се наведуваат без да се оценуваат и споредуваат со други решенија. Оценувањето започнува кога ќе се наведат сите можни решенија. Теоретското множество на решенија се добива со комбинирање на сите решенија кои ги задоволуваат функционалните барања.

За пошироката примена на методичкото конструирање придонеле Pahl и Beitz ("Engineering Design- A Systematic Approach, 1970, 1996). Нивните идеи се прифатени ширум светот преку препораки и стандарди (VDI 2221, BS 7000). **Основната порака од примената на морфолошкиот метод е дека за да се добие квалитетна конструкција треба во повеќе чекори да се изработат и анализираат повеќе добри концептуални решенија и од нив да се одбере најдоброто.**

8.3. Моделирање на функциите

Функција може да се претстави преку логичкиот проток на енергија (вклучително статички сили), материјал, или информации. На пример, за да се спои еден дел со друг, монтажерот треба да го зграби делот, да го постави и да го прицврсти. Овие функции мора да се извршат по логичен редослед: зграби, постави, прицврсти. При извршувањето на овие операции човекот обезбедува енергија и информации за контрола на движењето на делот и вложува сила. Трите елементи на протокот: енергија, материјали и информации најчесто се меѓусебно зависни.

Функциите кои содржат **проток на енергија** може да се класифицираат според видот на енергијата и начинот на дејство во системот. Нјачести видови енергија кај електромашинските системи се: механичка, електрична, енергија на флуиди и топлинска енергија. При протокот низ системот енергијата се трансформира, акумулира, пренесува, дотура и растура. За проток на енергија се смета и текот на силите, и кога нема движење.

Функциите сврзани за **проток на материјал** се делат на три групи:

1. *Проток*, односно процес при кој се сочувува материјалот. Материјалот се манипулира при што го менува местото и обликот. Термини кои се придружени кон протокот се: *позиционирај, подигни, поштри, задвижи, преведи, ротирај и води.*

2. *Раздранување на проток*, односно раздвојување на материјалот на два или повеќе делови. Термини сврзани со ваков процес се *демонтирај* и *развој*.
3. *Влевање на проток*, односно монтажа или спојување на материјалите. Темини со кои се опишува ваков процес се: *помешај*, *свој*, *постави релативно на*.

Функциите сврзани за **проток на информации** може да бидат во вид на механички сигнали, електрични сигнали или софтвер. Информациите се користат како дел од системите за автоматско управување или заради врска со човекот кој управува со уредот.

Целта на моделирањето на функциите е задачата да се претстави преку протокот на енергија, материјали и информации. Со тоа се помага разјаснувањето на задачата, односно се разјаснува што точно треба да прави производот што се конструира. Техниката на функционална декомпозиција е многу корисна при развојот на нови производи и за разбирање на постојните производи. Функционалната декомпозиција се извршува во неколку чекори.

8.3.1. Чекор 1. Одреди ја основната функција што треба да се изврши

Во овој чекор треба да се одреди една фраза со која се опишува основната функција според барањата на купувачите. Конструктивните задачи имаат една 'најважна' функција. Оваа функција се впушува врз црната кутија. Влез во црната кутија се енергијата, материјалот и информациите кои се внесуваат во системот. На излезот од системот ги имаме преработените влезни големини. Со дефинирање на влезот и излезот се одредуваат границите на системот.

Енергијата која влегува во системот мора да излезе од системот или да се складира во системот. Материјалите кои минуваат низ системот исто така се зачувуваат.

При дефинирање на влезните и излезните големини од системот добро е да се познати врските на системот со соседните системи. Затоа треба да се дефинираат сите компоненти кои се спојуваат или се во интеракција со системот. Овие објекти може да вршат ограничување на големината, обликот, тежината на системот.

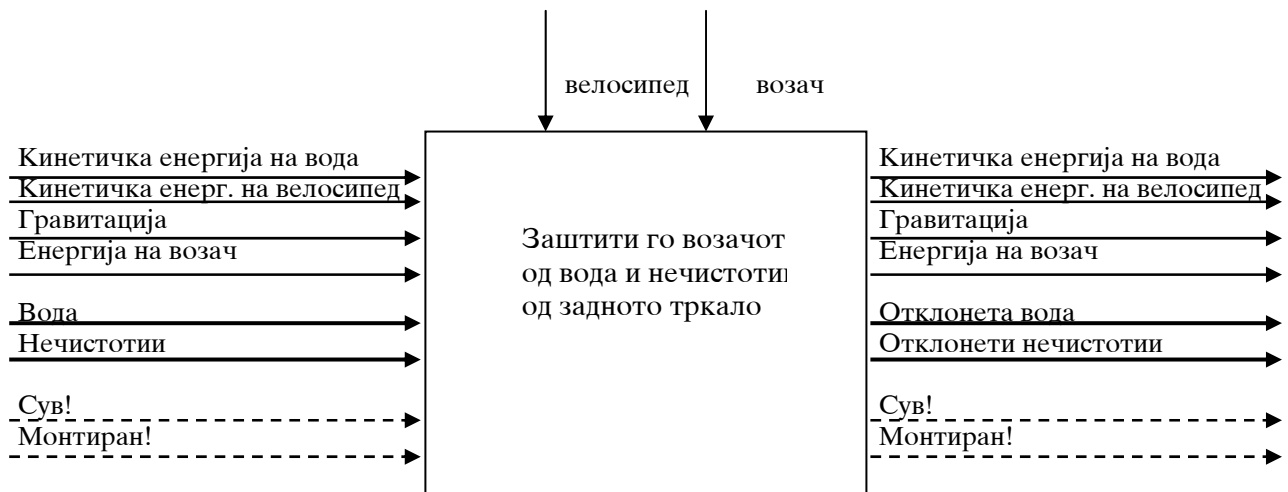
При дефинирање на протокот на информации треба да се одговори на прашањето: Како ќе знам дека системот добро работи? Одговорот на ова прашање ги одредува важните сигнали.

Пример на браник за велосипед: Одредување на основната функција. Најважна функција за браникот е "да го заштити велосипедистот од вода и кал од задното тркало", како што е внесено во правоаголникот на сл. 8.2. Сеуште не е јасно кој вид на енергија би се користел кај производот, но се знае дека се активни кинетичката енергија на водата и велосипедот, гравитацијата и енергијата на велосипедистот, кои се означени со тенки линии како влезни и излезни големини од системот.

Влез на материјал во системот е вода која може да биде помешана со кал. Водата и калта треба исто така да излегуваат од системот, освен ако се акумулираат, што овде не е пожелно. Од горната страна на правоаголникот се претставени другите објекти кои влијаат на системот, а тоа се велосипедот и велосипедистот. Овие два објекта се во интеракција со системот, но не протекуваат низ него.

На крај треба да се претстави текот на информациите. Многу производи активно ги менуваат информациите кои минуваат низ нив, но кај браникот тоа не е случај.

Сепак, информацијата која ја чувствува возачот е дали браникот е закачен или не и дали самиот е сув или не. Кај влезните информации е ставен прашалник, а кај излезните извичник што ги означува одговорите на излез од системот.



Сл. 8.2. Црна кутија за браник за велосипед

8.3.2. Чекор 2. Опиши ги потфункциите

Целта во овој чекор е да се разложи вкупната функција дадена во црната кутија. Како резултат се добиваат описи на потфункциите кои треба да се исполнат за производот да ги исполни барањата. Раложувањето на потфункции влијае на пребарувањето на решенија за задачите. Функцијата треба да е целосно разјаснета пред да се премине на генерирање на производ. Освен тоа, при разложувањето на потфункции може да се увиди дека веќе постојат уреди кои би можеле да ги употребиме за решавање на делови од задачата.

Секоја потфункција, како и основната функција ги има следните компоненти:

- црна кутија, во која се дадени: глагол со кој се опишува активноста (функцијата), објект врз кои се врши функцијата, дополнителни детали за функцијата,
- проток на материјали, енергија и сигнали.

Секоја потфункција се претставува на еден лист хартија или уште подобро, секоја потфункција се претставува на посебен лист хартија за да може подоцна да се менува редоследот на потфункциите со преместување на листовите.

При декомпозицијата треба да се земе предвид само **што треба да се прави** (функцијата), а **не како да се прави**. Кај функциите најважен е глаголот со кој се претставени. Типични функции кои се користат при решавање на проблеми од областа на машинство, според Ullman, се прикажани во табела 8.1. Се разбира, може да се користат и други глаголи.

Функцијата треба да се разложи колку што е можно пофино. Можно е да се јават и алтернативни функции со различни активности, што треба да се запише и следи. При функционалната декомпозиција добро е да се следат следните препораки:

- Означувањето на влезните и излезните големини за секоја функција помага да се вградат инженерските параметри, оние кои се внесуваат во системот и оние кои се бараат на излезот од системот. На пример, може да се внесе потребната влезна и излезна температура кај систем за одведување топлина.
- При разложувањето на потфункции треба да се замат предвид сите начини на работа на системот. Функцијата на системот може да биде различна при различни операции со него. Освен тоа, пред да се користи системот може да има **подготвителна операција** која треба да се претстави и слично, по употребата може да има некоја дополнителна **заваршна операција**. Често пати е корисно да се размислува за функцијата според сите нејзини фази.
- За одредени системи постојат стандардни претставувања на функциите со функционални блок-дијаграми, како на пример за електричните кола, цевководите, трансфер функциите кај динамичките системи, автоматското управување и др. Ваквите начини на претставување треба да се користат секаде каде што е потребно.
- Развојот на идеи за потфункциите може да биде потпомогнат со разгледување на барањата на купувачите. Целта е да се наведат што е можно повеќе функции, кои може подоцна да се применат за изработка на концепти.
- При реконструкција на постоечки производ треба да се демантира примерок на производот за да се одредат потфункциите.

Табела 8.1. Типични функции во машинскојо конструирање

апсорбира	спари	подигне	раздели
активира	намали	ограничи	одбрани
наголеми	демонтира	лоцира	започне
монтира	насочи	движи	сопре
одбегне	распрсне	ориентира	управува
замени	вози	позиционира	собира
канализира	прицврсти	заштити	снабдува
исчисти	води	ослободи	потпира
прибере	држи	исправи	трансформира
спроведе	наголеми	отстрани	преведува
контролира	прекине	ротира	верифицира
измени	поврзе	осигури	

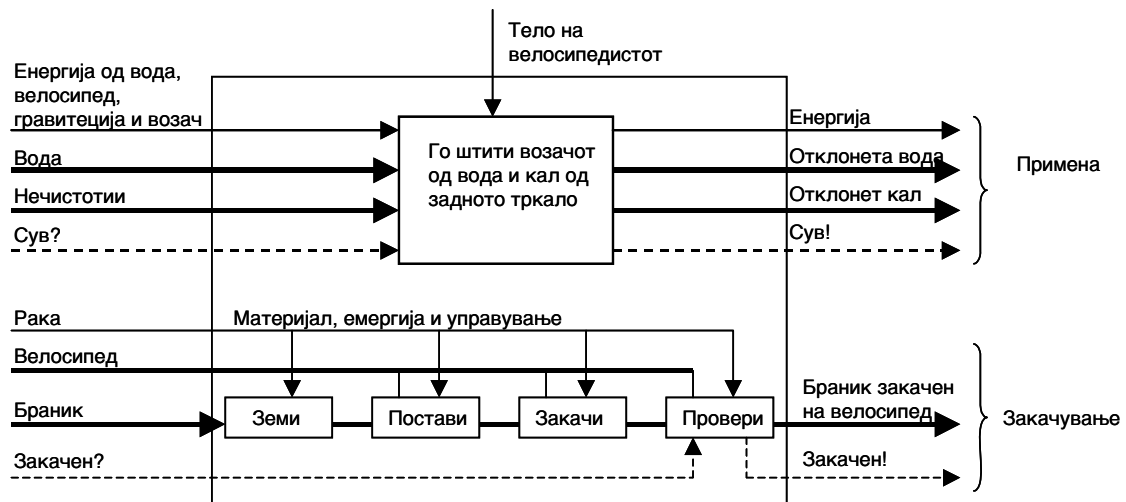
Пример на браник за велосипед: Разложување на потфункции. Функцијата треба да се разгледа во трите фази: при вклучување во работа, при работа и при исклучување од работа. Функциите се претставени како парови од именки/глаголи (сл. 8.3).

8.3.3. Чекор 3. Редослед на потфункциите

Потфункциите се подредуваат според логичен редослед или според време на извршување. Потфункциите претставени на листови хартија прво се групираат во три гупи: *при вклучување*, *при работа* и *при завршување со работа*. Потоа потфункциите се редат според логиката, односно излез од едната потфункција е

влез за следната потфункција. Притоа треба да се провери и преносот на материјал, енергија и сигнали помеѓу потфункциите.

Пример на браник за велосипед: Подредување на потфункциите. На сл. 8.3 се прикажани основната функција (го брани велосипедистот од вода) и независната низа на потфункции при вклучување (зграби, постави, прицврсти, провери). Потфункциите при исклучување од работа се слични на овие при вклучување и не се прикажани.



Сл. 8.3. Разработен функционален дијаграм за браник од ѓрскање

8.3.4. Чекор 4. Разложување на потфункциите

Целта во е да се раложат потфункциите на колку што е можно повеќе поситни потфункции. Разложувањето продолжува додека се стигне до најситни (елементарни) функции или за понатамошно разложување се потребни нови објекти. Функцијата се смета за елементарна ако може да се изврши со постојните објекти (уреди).

Пример на браник за велосипед: Разложување на потфункциите. На пример, функцијата позиционирај може да се разложи понатаму како што е прикажано на сл. 8.4 раката е претставена како проток на материјал зошто се движи заедно со браникот. Раката исто так обезбедува енергија и контрола за поставувањето. Како што се гледа од сликата, позиционирањето се одвива во четири чекори. постојат и други постапки за позиционирање, а ова е постапката која ја утврдил тимот.

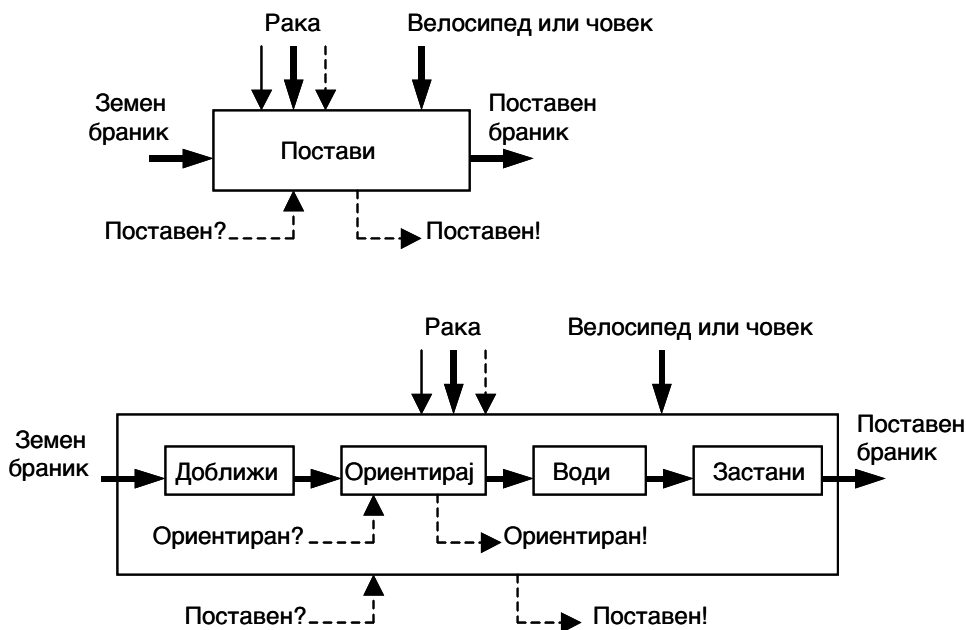
Разложувањето на потфункции не може да се изведе наеднаш, туку во повеќе чекори. Дијаграмите на функционална декомпозиција се менуваат и уточнуваат како што се развива конструкцијата.

8.4. Техники за создавање на концепти според функциите

Кога се разбрани функциите на производот, треба да се генерираат концепти (поедноставено претставени уреди) за нивно извршување. Концептите

се создаваат за да се реализираат функциите. Концептите може да се претстават со скици, блок-дијаграми, текстуални информации, модели од глина и хартија, и во друг облик кој укажува на начинот на извршувањето на функцијата.

Методот кој е претставен во продолжение служи за генерирање идеи врз основа на функциите. Методот се реализира во два чекора. Во првиот чекор, цел е да се изнајдат колку што е можно повеќе концепти за извршување на секоја потфункција поодделно. Во вториот чекор, поединечни концепти за потфункциите се комбинираат во целосни концепти кои ги исполнуваат сите функционални барања. Креативноста на конструкторите и нивното знаење се многу важни зошто идеите создадени во оваа фаза се основа за понатамошниот развој на производот. Овој метод се нарекува "морфолошки метод" и како резултат се добива морфолошка матрица.



Сл. 8.4. Понатамошна разработка на функцијата позиционирање

8.4.1. Чекор 1. Разработка на концепти за секоја функција

Во овој чекор, целта е да се генерираат колку што е можно повеќе концепти за секоја функција добиена при декомпозицијата. Притоа се користат две слични активности. Прво, за функцијата се генерираат алтернативни функции, на пример, за браникот тоа може да бидат: спречи вода, стргај вода, прибери вода и сл. Потоа, за секоја потфункција треба да се развијат што е можно повеќе концепти на уреди за нејзино извршување. Добро е притоа концептите да се развиваат на исто високо ниво на апстракција.

Ако за некоја функција има само еден концепт, треба да се направи проверка дали:

- *Конструкториот направи ран заклучок.* На пример, кај браникот за вода, запазено е дека единствен логичен начин за поместување на браникот во простор е со рака (со работи или кранови би било прескапо).

- Функцијата е насочена кон *како*, а не кон *што*. Може да се направи грешка и со функцијата наместо апстрактна активност да се опише конкретно решение.
- *Знаењето за доменот е ограничено*. Во овој случај е потребно да се побара помош за да се развијат нови идеи.

Пример на браник за велосипед: Развивање на концептите за секоја функција. Во табела 8.2 се прикажани концептите за извршување на секоја од функциите. Идеите дадени во табелата доаѓаат од знаењата и креативноста на конструкторскиот тим. Целокупните концепти за браникот се формираат подоцна според оваа табела.

Табела 8.2. Морфолошка матрица за заштитата на возачот од ѓрскање

Закачи						
Земи	Допри	Еден прст	Два прста	Шака	Две раце	
	Држи	Отвор	Триење	Поставување	Уред за држење	
Постави	Движи	Движењето е секогаш со рацете на корисникот				
	Ориентирај	Чеп	Сид	Жлеб		
	Води	Чеп	Сид	Шина	Жлеб	Отвор
	Стопирај	Ускокни	Со копче	Со преплет		
Осигури		Завртка	Со вакуум	Ускочник	Штипка	Со лим преку
		Лепенка	Чивија	Магнет	Еластично јаже	
Верифицирај		Отпор при влечење	Шум	Боја	Видлив процеп	
Држи		Види осигури				
Откачи	Зграпчи	Види закачи				
	Ослободи	Види закачи				
	Води	Види закачи				
	Задвижи	Види закачи				
Отклони вода		Уред на возачот	Уред помеѓу возачот и тркалото	Уред веднаш до тракалото како калбраник	Стрга вода од тркалото	Спречува водата да дојде на тркалото

8.4.2. Комбинирање на концептите

Како резултат од чекор 1 се добива листа на концепти генерирани за секоја функција. Во овој чекор треба да се комбинираат концептите за поедини функции во концептуално решение за целиот производ. За секоја функција се зема по еден концепт и се прави комбинација за да се добие една варијанта на производот. Една варијанта е прикажана со заокружување на избрани концепти за педините функции на калбраникот за велосипед.

Недостаток на овој метод е што ако се свати бубално може да се генерираат премногу решенија. На пример, за браникот, ако тимот генерирал 5

концепти за функцијата водење и 9 за функцијата закачување, тогаш само од две функции може со комбинирање на се формираат 45 решенија. За целиот пример веројатно би имало илјадници варијанти.

Втор недостаток на овој метод е што независноста на функциите не е само концептуална, туку и физичка, така што интеграцијата (како последица од аксиома 2 од глава 7) на уредите кои може да бидат на ист носач треба да се изврши подоцна. На пример, кај пресата за лук би биле генерирани два посебни уреда еден за пресување и еден за чистење на пресата кои дури потоа би требало да се интегрираат во едно тело.

Трет недостаток е што направената комбинација може да биде бесмислена. Иако методот е наменет за генерирање на идеи, исто така служи и за површно оценување на идеите. Иако генерираните концепти може да бидат доста апстрактни, но ова е преминот од текстуално опишување на проблемот кон скици. Скиците, дури и оние кои се доста апстрактни се многу корисни за заради прикажувањето на функцијата со облик. Освен тоа, единствен начин да се претстават посложени објекти е со користење на скици. Скиците се запис за развојот на концептот на производот.

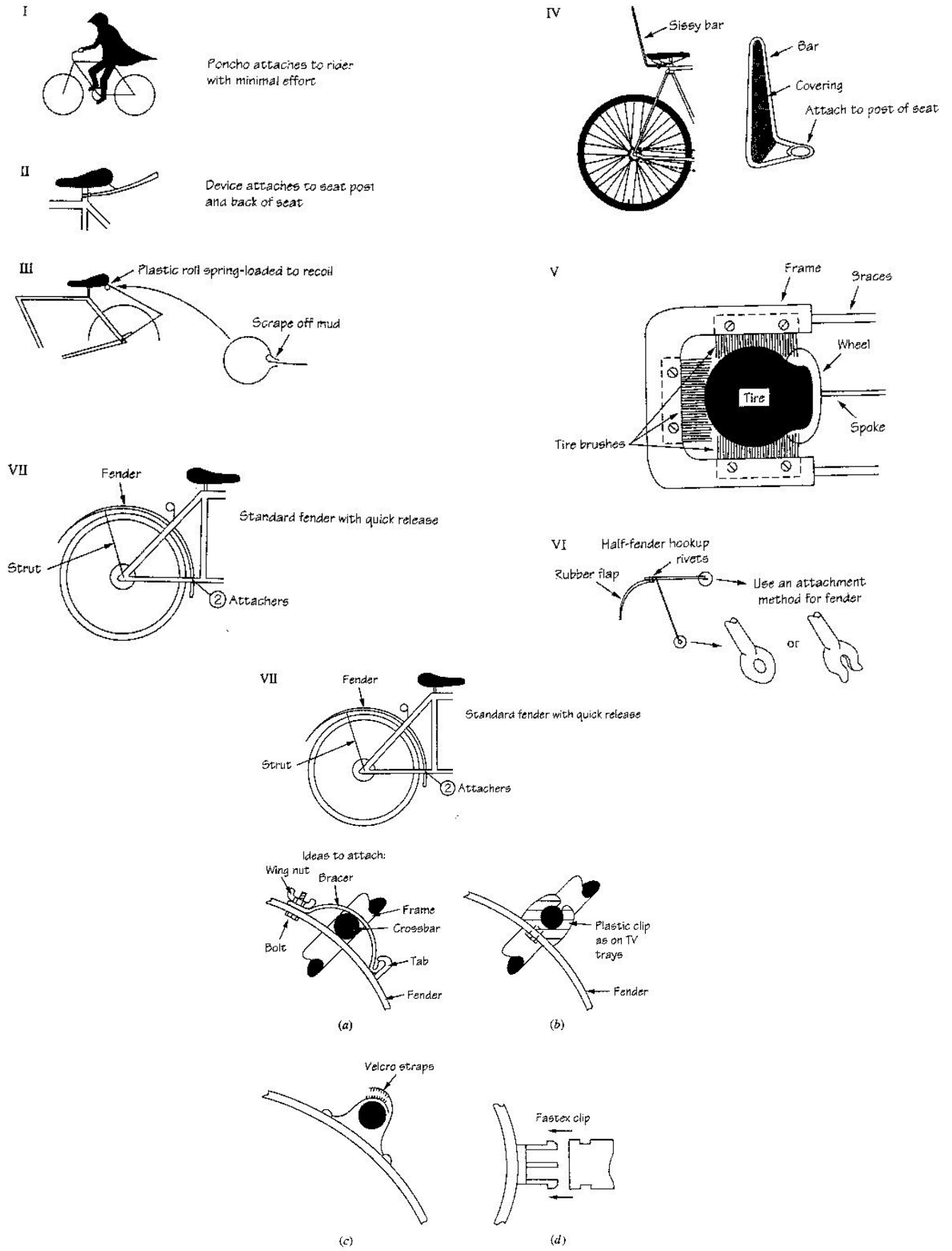
Браник за велосипед: Комбинирање на концептите. На сл. 8.5 се прикажани одбрани скици од членовите на тимот за развој на браникот. Одбрани се за прикажување 7 концепти.

- Концептот I е едноставна кабаница за дожд.
- Концептот II е уред помеѓу возачот и тркалото кој се закачува за седиштето или носачот на седиштето. При концептуалното конструирање тимот заклучил дека функцијата бранење од вода може да се посматра независно од функцијата на прикрепување за велосипедот. Тоа овозможило задачата да се разложи на две подзадачи.
- Концептот III е пластична ролетна која со помош на пружина се навиткува во ролна кога не се користи. Ролната е сместена во касета која со своите рабови ја отстранува водата и калта при намотување на ролетната.
- Концептот IV е преграда помеѓу возачот и тркалото.
- Концептот V е уред кој ја стрга и мете водата од тркалото.
- Концептот VI е комбинација од багажникот и калбраник.
- Концептот VII е стандарден калбраник. Под калбраникот се прикажани четири концепти за негово прицврстување за велосипедот. Концептите б и г овозможуваат прецизно водење и прикрепување во крајната положба, како и звук "клик" кој го верификува прикрепувањето.

Иако е симплифицирачки, морфолошкиот метод нашироко се применува. Тој овозможува да се запомнат ралични начини за задоволување на функциите и да се користат за други производи.

8.5. Извори на идеи за концепти

За да се генерираат што е можно повеќе концепти и идеи конструкторскиот тим треба да се состанува и да применува некоја од методите за креативно мислење. За време на овие сесии не се оценуваат идеите и пожелно е да се наведат мноштво идеи, се додека тимот не ги исцрпи сите средства за добивање нови идеи.



Сл. 8.5. Концепции за конструиране на браник од вода за велосипед (Ullman)

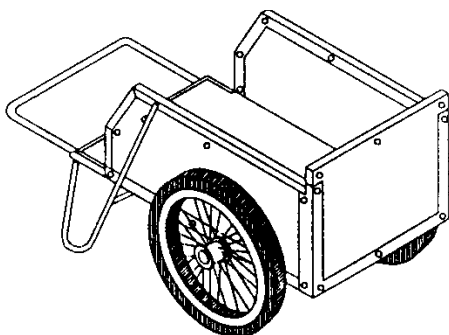
До идеи се доаѓа и преку анализа на слични успешни производи од други производители. Дополнителни извори на идеи се патентната литература или други книги. Пребарувањето на патенти може да се направи и преку светската мрежа на пр. базата на IBM на <http://patent.womplex.ibm.com/> и американската база на патенти на <http://patents.cnidr.org/access/access.html>. Базите можат да се пребаруваат според име на патентот, број, пронаоѓач, дата на издавање и клучни зборови. Други извори на идеи преку светската мрежа се Design News на <http://www.penton.com/md/> и комерцијалниот програм Invention Machine, за кој информациите можат да се најдат на <http://www.invention-machine.com/>.

Добар дел од функциите во машинството имаат добро разработени концепти, па и конкретни уреди. Повеќе за овој метод може да се најде во литературата (Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen). Со систематско набројување на различни начини за реализација на дадени функции изработени се низа каталози за различни подрачја од машинството и компјутерски програми за пребарување на конструктивни решенија. Овие каталози му помагаат на конструкторот систематски да анализира повеќе решенија и со комбинирање и оценување на концептите да го одбере најдоброто решение.

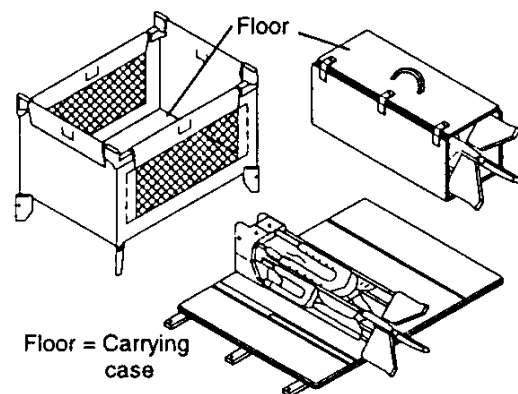
8.5.1. Примена на глаголи во генерирањето на идеи

Со следниот пример е илустрирана примената на глаголите за генерирање на нови идеи. Глаголот *наголеми* е применет при конструкција на рерна со самочистење. Рерната се чисти така што може да постигне температура од приближно 400° C при која нечистотиите се претвораат во прав. Друг пример на наголемување е количката на сл. 8.6 која има големи тркала и гуми. Со тоа се постигнува поголема висина на количката со што товарот му е поблиску на дофат на корисникот, а количката е полесна за движење и управување и на мек терен.

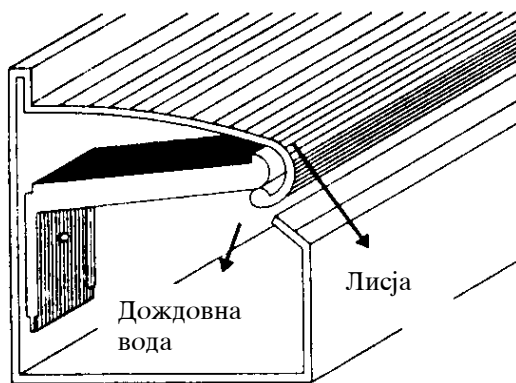
Како пример за *сјарување* може да послужи детската градинка прикажана на сл. 8.7. Дното на градинката истовремено служи како кутија за пакување и пренесување. Оваа поделба на функции е можна поради тоа што двете функции не мора да се извршуваат едновремено. Пример за измена на постоечка конструкција е дождовниот олук прикажан на сл. 8.8, кој е направен така да *брани* од навлегување на лисја, додека дождовната вода влегува во него.



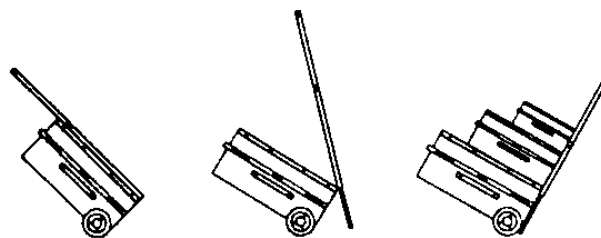
Сл. 8.6. Пример за зголемување : количка со големи тркала



Сл. 8.7. Пример за комбинирање: расклојлива детска градинка



Сл. 8.8. Пример за модификација на постојечка конструкција: олак



Сл. 8.9. Пример за модификација, адаптација и преуредување: рачка од куфер

Многу производи се резултат од едновремена примена на повеќе глаголи. При конструирањето на рачката за куфер на сл. 8.9 применета е *адаптација*, *измена* и *преуредување*, со што рачката има повеќе намени.

8.5.2. Пребарување концепти според физички закони

Морфолошкиот метод се применува на повеќе начини. Еден од начините е да се класифицираат решенијата според физичките закони а потоа да се одредат начините на кои можат да се имплементираат овие принципи. Неколку општи области во кои можат да се пребаруваат решенија се дадени во таб. 8.3. На пример, функцијата на *акумулирање енергија* може да се реализира механички, електрички, термички или хидраулички. Во секоја од овие категории енергијата може да биде акумулирана на повеќе начини. Механичката енергија може да се акумулира во пружина, замаец, маса која се движи со константна брзина и маса поткачена на висина од каде има потенцијална енергија. Електричната енергија може да се акумулира во батерии и кондензатори. Термичката енергија може да се акумулира во загреано тело, течност или гас. Хидрауличната енергија може да се акумулира во течност подигната на висина (потенцијална енергија) и во струја на течност.

Иако различните концепти на решавање ќе резултираат во производи кои функционираат на различен начин, тие можат да имаат многу слични компоненти и однадвор да изгледаат исто. Таков е случајот со бензинските и дизел моторите кои и покрај различниот принцип на работа имаат сличен изглед. Друг пример се машините за перње, кои ги има два вида: со хоризонтална оска на вртење и со верикална оска на вртење. Кај машините со хоризонтална оска алиштата се мешаат поради нивната тежина, додека кај машините со вертикална оска е потребно протресување.




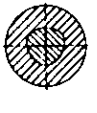










8.5.3. Примери на примена на морфолошкиот метод

Пребарувањето решенија за конструктивните параметри се одвива на повеќе нивоа во хиерархијата на конструкцијата. На пример, на пониско ниво на хиерархијата може да се бара начин за **прикрепување на главина за вратило**. И тука се проврваат многу можни решенија, а некои од нив се претставени во таб.

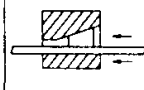
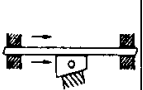

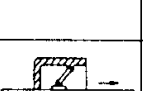
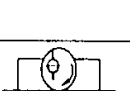
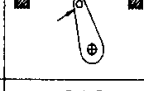
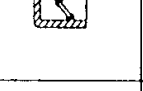
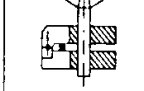
8.4. За понатамошна илустрација на морфолошкиот метод може да послужи примерот каде со помош на мотор треба да се генерира транслаторно движење со одреден ритам, сила и брзина. Механичките уреди кои овозможуваат **претворање на вртежно движење во транслаторно**, можат да базираат на различни принципи на работа. Примери се: кулисните механизми, запченик-запчеста летва, навојните преносници и бреговите. На сл. 8.10 се прикажани неколку примери на вакви преносници.

Табела 8.3. Класификација на подрачјата на физичките закони

Подрачје	Пример
Механика	Гравитација, инерција, центрифугална сила
Хидраулика	Хидростатско, хидродинамичко
Пневматика	Аеростатско, аеродинамичко
Електрика	Електростатско, електродинамичко, индуктивно, капацитивно, пиезоелектрично
Магнетика	Феромагнетно, електромагнетно
Оптика	Рефлексија, рефракција, дифракција, интерференција, поларизација, инфра-црвени, видливи, ултравиолетови
Термика	Експанзија, биметален ефект, акумулација на топлина, пренос на топлина, кондукција на топлина, топлотна изолација
Хемија	Согорување, оксидација, редукција, разложување, електролиза, егзотермна и ендотермна реакција

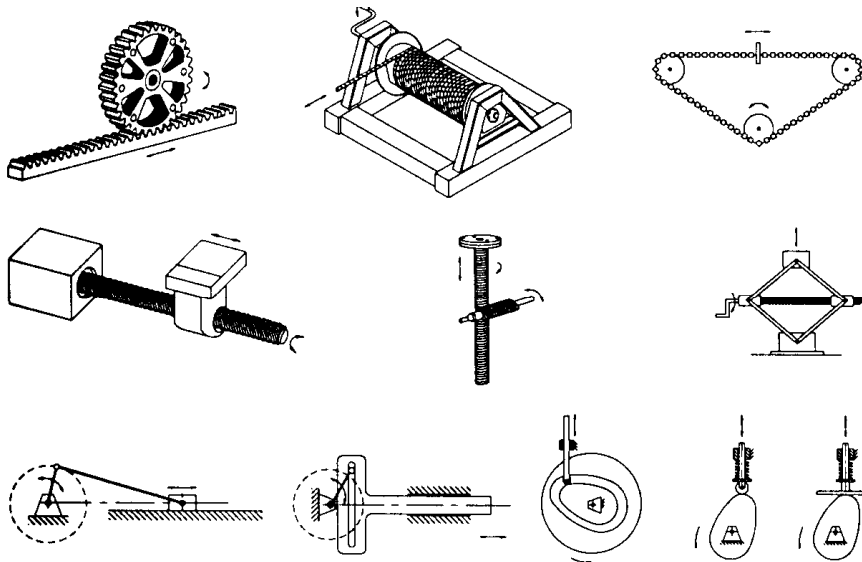
Вид				
Облик				
Положба				
Големина				
Број				

Табела 8.4. Неколку начини за илустрирање вртливо со главина

Категорија	Концепт		
Наведена рамнина			
Ексцентар			
Рачица			
Завртка			

Табела 8.5. Неколку начини за илустрирање жица

Да го разгледаме случајот кога треба да се **прицврстува привремено цилиндрична прачка**, при што прачката треба повремено да се ослободува и поместува во нова положба, каде повторно се прицврстува. Еден од принципите на работа е примената на триење предизвикано со стегање на прачката. Стегањето на прачката може да се изврши на неколку начини како: со завртка, со рачка, со ексцентар и со клин. Неколку имплементации на овие принципи се прикажани во таб. 8.5.



Сл. 8.10. Неколку уреди со кои ротационо движење се претвора во праволиниско

Ќе се навратиме на **славината за вода** разгледувана во претходното поглавие. Целта на конструирањето е да се овозможи независна регулација на протокот и температурата на водата. Доколку топлата и ладната вода доаѓаат до славината под ист притисок и со цевки со еднаков дијаметар, тогаш неколку конструктивни решенија се прикажани во таб. 8.6. Кај славината со цилиндар регулација на температурата се врши со подигање и спуштање на цилиндарот, а регулација на количеството на вода со вртење на цилиндарот околу својата оска.

Во табела 8.6 се прикажани концептуални решенија за **систем за автоматско лепење тапети**. Бројот на различни комбинации на системот за лепење тапети според табелата 8.7 е 2700 и практично не е можно да се проверат сите комбинации. Поради тоа, потребно е да се примени ефикасен метод за систематско оценување на концептите.

Вид	Концепт	
Цилиндрична цевка		
Лост		
Пресечен цилиндар		
Сфера		

Н - топла вода С - студена вода М - мешана вода
Т - контрола на температурата V - контрола на волуменот

Табела 8.6. Неколку концепции за независна регулација на притока на вода и температурата на вода

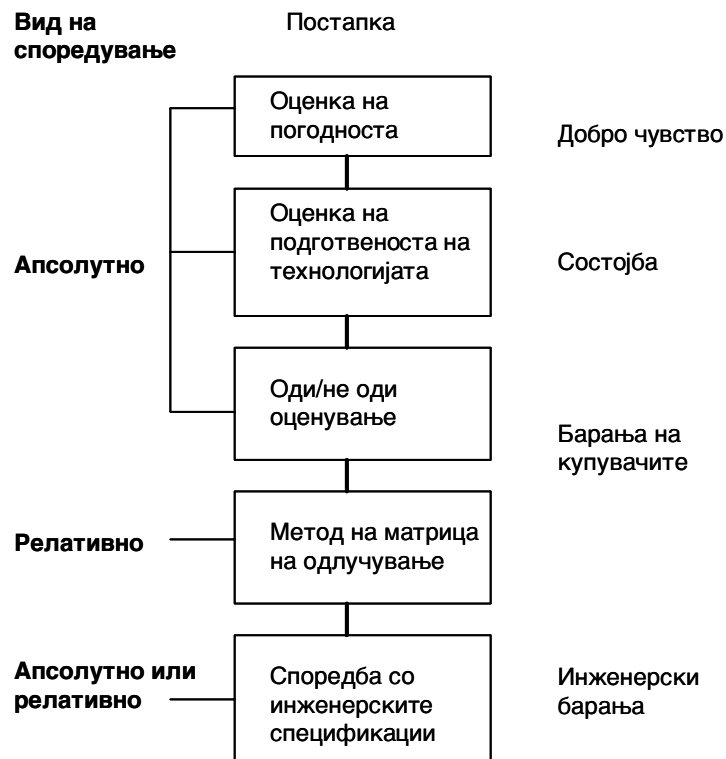
Design parameter	Concept						
Means to dispense tape [(DP) ₃₁]	11	12	13	14			
Means to move joint compound [(DP) ₃₂]	21	22	23	24	25	26	
Means to dispense joint compound [(DP) ₃₃]	31	32	33	34			
Means to apply tape and joint compound to wall [(DP) ₃₄]	41	42	43	44			
Means to sever tape from roll [(DP) ₃₅]	51	52	53	54	55	56	57

Табела 8.7. Концепции за систем за леенење на пајети

9. ОЦЕНУВАЊЕ НА КОНЦЕПТИТЕ

Тешкотија при оценувањето на концептите е што треба да се одлучи за кој концепт да се вложи време за развој, додека сеуште имаме прилично ограничено знаење и податоци врз кои би го базирале изборот. Освен тоа, треба да се одлучи и кога да го стестниме изборот на само еден концепт. Идеално, би требало да се знаат доволно информации за сите концепти за да може да се направи избор и за да се вложат ресурсите во понатамошна разработка на само еден концепт. Некои претпријатија развиваат само еден концепт, а други развуваат повеќе концепти паралелно при што постепено ги елиминираат послабите концепти. Секое претпријатие има свој стил на развој на производите и нема точен број на концепти што треба да се разработуваат. Конструирањето е учење, а средствата се ограничени.

Се поставува и прашањето како да се оцени груб концепт. Концептите се апстрактни, содржат малку детали и не може да се вршат мерења. Во продолжение се објаснети неколку постапки за одлучување на база на знаења при лимитирани информации. Методите се користат да го намалат бројот на генерираните концепти на само неколку концепти кои ветуваат дека може да се развијат во квалитетни производи. Постапките се прикажани со блок-дијаграмот на сл. 9.1.



Сл. 9.1. Методи на одлучување при оценување на концептите

Кај овие постапки, одлучувањето подразбира споредување и донесување одлуки. Се користат два вида споредби. Првиот вид е апсолутна споредба при што различните концепти директно се споредуваат со множество на критериуми. Вториот вид е релативна споредба, при што концептите се споредуваат еден со друг врз основа на мерки дефинирани од критериумите. Како што се гледа од сл. 8.1, првите три постапки се апсолутни и тие се користат за да се исфилтрираат концептите кои потоа се споредуваат релативно еден на друг со помош на матрица на одлучување. Овие четири постапки заедно се најдобриот начин за оценување на концептите.

Последната постапка, споредбата со инженерските спецификации се користи воглавно за производи кај кои се познати вредностите на параметрите за да може да се прави споредба. Можно е некои од концептите да се доволно разработени за да може да се прави и ваков вид на оценување.

За да може да се врши споредба, концептите и критериумите треба да се на исто ниво на апстракција. На пример, може да е зададено барање производот да може да се смести во простор во должина. Апстрактниот опис за ваков производ би можел да биде 'кус'. Должината 50 ± 0.1 mm не може да се спореди со зборот 'кус' зошто концептите се во различен јазик - број наспроти збор - и се на различно ниво на апстракција - многу конкретно наспроти многу апстрактно.

Проблемот со апстрактните концепти е што тие се нејасни и со разработката може да се добие поинакво однесување од очекуваното. При поголемо знаење за концептот, помала е можноста за изненадувања, Сепак, и кај добро познато подрачје може да се јават непредвидени потешкотии при разработката на концепт во производ.

Може да биде добро да се разработат повеќе концепти пред да се одлучиме за еден. Конструкторите во Tosota го применуваат "процес на стеснување на множество паралелни варијанти", при што паралелно развиваат повеќе концепти. Како што се напредува во учењето, се елиминираат оние концепти што помалку ветуваат.

9.1. Претставување на информациите при оценување на концепти

При планирањето, се одредуваат моделите кои ќе се користат за претставување на информациите за време на развојот на производот. За проверка на однесувањето и споредба со инженерските спецификации, како и за прикажување на обликот заради споредба со спецификациите кои се однесуваат на обликот, се користат физички модели или други прототипови кои го илустрираат концептот. Понекогаш овие прототипови се доста груби (од картон, жици, лим) и имаат за цел да се провери дали идејата вреди. При конструирање со примена на нова технологија или сложена позната технологија, изработката и тестирањето на физички модел се единствениот можен пристап. Овој пристап се нарекува *циклус конструирај-изработи-тестирај*.

Времето и средствата за изработка на физички модели може да се елиминираат со примена на аналитички модели и симулации (тестирање) на

моделот. Ваквиот пристап се нарекува циклус *конструирај-тестирај-изработи*. Ако аналитичките модели се на компјутер и може да се претстават графички, тогаш може да се тестира и обликот и функцијата без да се прави физички модел. Ваквиот пристап значително го скратува времето и трошоците. Сепак, треба да се има предвид дека анализата може да се примени само на модели кои се добро разбрани и може да се моделираат математички. Новите технологии за кои нема аналитички модел мора да се тестираат преку физички модели.

9.2. Оценување со проценка на погодноста

Кога се генерирани концептите, конструкторот за секој концепт има една од триве директни реакции: (1) не одговара, нема да работи; (2) можеби ќе работи под одредени услови; (3) вреди да се разработи. Овие оценки се базираат на 'добар осет', всушност споредувањето се прави според претходно искуство кое е акумулирано во вид на конструкторски знаења. Веродостојноста на одлучувањето зависи од искуството на конструкторот.

Кога решението не одговара, пред да биде отфрлено, треба да се разјасни причината поради која се отфрла (технолошки неисправно, не ги исполнува барањата на купувачите, не е оригинално).

Ако решението е оценето како поинакво, невообичаено, треба да се провери да не се отфрли иновативно решение за сметка на трдиционалните концепти за кои постои навика. Основно е да се разграничи помеѓу можноста за позитивна промена и лошо решение. Следењето на традицијата и стандардите обично е добра пракса, но не смее да се задуши иновативноста.

Ако решението се оцени како 'туѓо решение', треба да се провери дали тоа е подобро од сопствените решенија со кои конструкторите обично се гордеат. Понекогаш идеите позјмени од другите се подобри. Оригиналните идеи се прилично ретки. Затоа, добра пракса е да се научи што е можно повеќе за конкурентските производи што ќе биде од голема помош при развој на нов производ.

Најтешки за оценување се концептите кои не се очигледно добра идеја, но изгледаат вредни за понатамошно разгледување, За проценка на ваквите концепти неопходно е инженерско знаење и искуство.

9.3. Оценување на концептите според расположивоста на технологијата

Следна техника за оценување е одредување на расположивоста на технологијата кој би можела да се примени во концептите. Оваа постапка бара апсолутна споредба со можностите. Технологијата која се користи во производот мора да е доволно зрела за да се работи на конструирање, а на истражување. Повеќето технологии кои се користат во производите се целоцно зрели и оценувањето по овој критериум е едноставно. Сепак, во средини кои се многу компетитивни, постои мотив за воведување на нови

технологии во производите заради постигнување повисок квалитет и мора да се провери дали технологијата е спремна за вградување во производот.

9.4. Оценување со едноставна проверка оди/не оди

Секој концепт треба да се спореди со барањата на купувачите на апсолутен начин. За таа цел, секое од барањата треба да се трансформира во прашање кое треба да се одговори за секој концепт. Прашањата треба да се одговорат со да или можеби (оди), или не (не оди). Преку одговорите на прашањата се откриваат оние концепти кои не треба понатаму да се разработуваат. За концептите кои имаат само неколку не-оди оценки, пред да се отфрлат, треба да се провери дали може да се модифицираат. Со оценувањето се одредуваат слабите и нејасните точки на концептите за кои е потребна дополнителна проверка, обично преку едноставен прототип.

Кај примерот на браникот за велосипед, за концептот IV каде водата се стрга од тркалото со помош на четка е направен прототип и е установено дека четката отстранува околу 95% од водата. Затоа концептот е оценет со 'оди' на понатамошно оценување.

9.5. Оценување на концептите со примена на матрица на одлучување

Методот **матрица на одлучување** или **методот на Pugh** е доста едноставен и се покажал ефикасен при споредба на алтернативни концепти кои не се доволно разработени, и кои не може сеуште да се оценат според задоволување на инженерските спецификации. Основата на методот е прикажана со табела. 9.1. Методот е средство за оценување на повеќе концепти еден во однос на друг според можноста да ги задоволат критериумите поставени како барања на купувачите.

Табела 9.1. Структура на матрица на одлучување

<i>Критериум (Чекор 1)</i>	<i>Фактор на важносii</i>	<i>Концепции (Чекор 2)</i>
	.	<i>Оцени (чекор 3)</i>
	.	.
	.	.
<i>Вкуино + Вкуино - Вкуино Вкуино според важносii</i>		<i>Вкуини оценки (чекор 4)</i>

Со методот матрица на одлучување брзо се одредуваат поцелосните алтернативи, а помага и да се изнајдат нови варијанти. Методот е најефикасен ако секој од членовите на конструкторскиот тим го примени самостојно, а потоа се споредат резултатите. Постапката се повторува

зависно од претходните резултати се додека тимот стане задоволен од резултатите. Како што се гледа од табела. 9.1 методот се состои од четири чекори.

Чекор 1: Одбери ги критериумите за оценување. Целокупната листа на барањата на купувачите се развива преку развој на функцијата на квалитет (куќа на квалитет). Концептите може да не се развиени до фаза каде може да се мери однесувањето (исполнувањето на инженерските спецификации). Обично, како основа за споредување на концептите на конструкцијата се земаат барањата на купувачите, кои како и концептите се апстрактни и затоа се погодни за правење на споредби.

Чекор 2. Одбери ги варијантите кои треба да се споредат. Варијантите кои треба да се споредат се различните идеи развиени за време на генерирањето на концептите. Тоа значи дека е најдобро сите концепти да се претстават на ист начин. Обично, најдобро е да се користи едноставна скица за секој концепт. При изработката на скиците треба да се внимава знаењето за функционалноста (начинот на работа), градбата, потребните технологии и погодноста за изработка да бидат на споредливо ниво за секоја скица.

Чекор 3. Оцени. При развојот на конструкцијата секој конструктор има своја најпосакувана варијанта која смета дека е најдобра. Оваа варијанта се користи како база, а сите останати варијанти се споредуваат со неа на исто ниво на апстракција и со примена на ист јазик. Ако се работи за редица, тогаш како основна варијанта се користи концептот на постојната конструкција.

При споредувањето, секој концепт се оценува според тоа дали е подобар (+) или полош (-) од основниот концепт. Ако концептите се скоро исти се оценуваат со (S или 0). ако не може да се направи споредба за одредени барања на купувачите, тоа значи дека се потребни повеќе информации. Може да се јави потреба за подетална разработка на концептите за да може да се споредат.

Чекор 4. Пресметај го вкупниот резултат. Вкупниот резултат може да се пресмета со бројење и собирање и одземање на плусовите и минусите. Вкупниот резултат е поверодостоен ако се користат тежински фактори за важноста на поедини барања на купувачите. Резултатите се интерпретираат на повеќе начини:

- Ако еден концепт или група слични концепти има добра вкупна оценка, важно е да се увиди кои се јаките страни на концептот, односно во што се подобри од основната варијанта. Минусите ги означуваат оние критериуми кои особено тешко се постигнуваат.
- Ако повеќе концепти добијат иста оценка по даден критериум, треба подобро да се разгледа критериумот. Можно е да треба подобро проучување за да се подобри знаењето за критериумот или треба да се изработат подобри концепти. Можно е и критериумот да е двосмислен и различно интерпретиран од членовите на тимот. Ако критериумот има мала важност не вреди да се троши многу време во неговото разјаснување. Ако се работи за важен

- За да се подобри оценувањето, потрено е да се повтори постапката така што како база за споредување ќе се земе најдобрата варијанта од претходното оценување. постапката се повторува се додека се издвои најдобриот концепт.

На крајот од постапката, членовите на тимот треба да ги споредат нивните индивидуални оценки. Споредбата треба да даде за резултат неколку концепти кои вреди да се разработуваат понатаму.

Табела 9.2. Почетна матрица на одлучување за браник за велосипед

Критериум	Фактор на важност	Концепти						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
Лесно се закачува	7	+	+	+	+	+	S	б
Лесно се откачува	4	-	+	+	+	+	S	а
Брзо се закачува	3	+	+	+	+	+	S	з
Брзо се откачува	1	+	+	+	+	+	S	а
Се закачува при нечист.	3	+	+	+	+	S	S	
Се откачува при нечист.	1	-	+	-	+	S	+	
Не оштетува	10	+	+	+	+	S	S	
Не собира вода	7	-	+	-	S	S	S	
Не тропа	8	-	-	-	-	S	S	
Не се тресе	7	-	-	-	S	S	S	
Не се витка	4	-	-	-	S	-	S	
Траен	11	-	S	-	S	-	S	
Лесен	7	+	S	S	-	S	S	
Не испаѓа	10	+	S	S	S	S	S	
Одговара на многу велосипеди	7	+	S	S	S	S	S	
Модерен	5	-	S	-	-	+	S	
Вкупно +		8	8	6	7	5	1	0
Вкупно -		8	3	7	3	2	0	0
Вкупно		0	5	-1	4	3	1	0
Вкупно според важност		1	17	-15	9	5	1	0

Примена на матрицата на одлучување е илустрирана со примерот на браник за велосипед. Кај повеќето изработени концепти, системот може да се раздвои на две компоненти: систем за бранење од вода и систем за прицврстување за велосипедот. За двата система понатаму може да се врши засебно одлучување. Оценувањето на системот за бранење од вода е прикажано на сл.2. Најпрво, секој од членовите на конструкторскиот тим го врши оценувањето засебно. Во табела 9.2 е прикажан усогласениот резултат. Иако процесот е доста субјективен, сепак се добиваат јасни насоки. Во оваа фаза браникот (концепт VII) или уредот сличен на браник (концепт VI) не се

издвојуваат како најдобри поради портребата од закачување/откачување. Освен тоа, јасно се гледа дека дождовната кабаница (концепт I) и преградата во вид на прозорец (концепт III) не се доволно добри поради слабата трајност. Така за понатамошна анализа остануваат концептите II, IV и V.

Оценувањето е повторено при што како база е земен концептот II (табела.9.3.). Според резултатите од второто оценување најдобар е вториот концепт, а веднаш по него е IV концепт. Концептот V е послабо оценет поради тоа што се закачува на валканиот дел од велосипедот и може да го оштети велосипедот. Поради сличноста на концептите II и IV одлучено е IV да се елиминира. Концептот II е усвоен како најдобар за понатамошна разработка.

Табела 9.3. Втора матрица на одлучување за системот за отклон на вода кај велосипед

Критериум	Фактор на важност	Концепти		
		II	IV	V
Лесно се закачува	7	б	S	S
Лесно се откачува	4	а	S	S
Брзо се закачува	3	з	S	S
Брзо се откачува	1	а	S	S
Се закачува при нечист.	3		S	-
Се откачува при нечист.	1		S	S
Не оштетува	10		S	-
Не собира вода	7		S	S
Не тропа	8		S	S
Не се тресе	7		S	-
Не се витка	4		S	S
Траен	11		S	-
Лесен	7		S	-
Не испаѓа	10		S	-
Одговара на многу велосипеди	7		S	-
модерен	5		-	+
Вкупно +		0	0	1
Вкупно -		0	2	5
Вкупно		0	-2	-4
Вкупно според важност		0	-12	-33