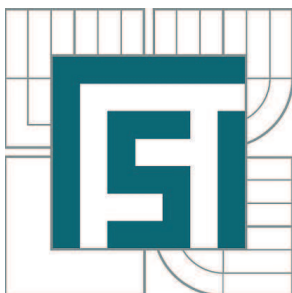


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

PROJEKTOVÉ ŘÍZENÍ VÝSTAVBY TECHNOLOGICKÉHO CELKU

PROJECT CONSTRUCTION MANAGEMENT TECHNOLOGY UNIT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JOSEF ŠAROUN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JAN FIEDLER, Dr.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Josef Šaroun

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Energetické inženýrství (2301T035)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Projektové řízení výstavby technologického celku

v anglickém jazyce:

Project construction management technology unit

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je specifikace požadavků, které vznikají při zpracování investičního záměru na výstavbu nového energetického zdroje. Práci zpracujte z pohledu investora (výběr vhodné lokality, koncepční studie, ekonomické analýzy, legislativa, podpora KVET, reference GD) a z pohledu zhotovitele (milníky, HMG, cena, rizika, projekty, výběrová řízení, garantované parametry, SoD).

Cíle diplomové práce:

- Porovnání výstavby PPC zdroje 40 MW s plynovou turbínou a kogenerační jednotkou
- Technický popis jednotlivých použitých technologií
- výhody a nevýhody každé z technologií

Seznam odborné literatury:

Fiedler,J.: Parní turbíny - návrh a výpočet, CERM- Brno 2004

Škopek,J.:Parní turbína, ZČU Plzeň 2007

Kadrnožka, J.: Tepelné turbíny a turbokompresory, CERM- Brno, 2007

Kolektiv: Strojní zařízení tepelných centrál, PC-DIR, 1999

Vedoucí diplomové práce:doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 13.10.2011



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je specifikovat požadavky, které vznikají při zpracování investičního záměru na výstavbu nového energetického zdroje o výkonu 40 MW a přiblížit Projektové řízení, jako takové. Práce je členěna na dvě části. Nejprve je řešena z pohledu investora. V této části je podrobněji vypracovaná koncepční studie, technologický popis pístových kogeneračních jednotek a paroplynového cyklu, koncepční design navržených variant a jejich ekonomické analýzy. Druhá část je zpracována z pohledu vybraného zhotovitele, kde je definován rozsah úkonů, potřebná dokumentace a povolení ke zdárnému ukončené stavebního projektu energetického zdroje.

KLÍČOVÁ SLOVA

Projektové řízení, kogenerace, spalovací motory, paroplynový cyklus, výroba elektrické energie, zdroj tepla, ekonomické srovnání.

ABSTRACT

The target of this master thesis is specify the requirements, which come up while summing the investment aim of a new 40MW energetic unit, and show the overall project management. Thesis is divided into two parts. First part deals with project management from the investors point of view. There is also detailed concept study, technological description of piston co-generation units and combined cycle, concept design of calculated variations and their economical analysis. Second part is taken from the point of view of the main supplier. There is defined the range of operations, documents and official permissions needed for successful finish of the civil part of the energetic unit project.

KEY WORDS

Project management, cogeneration, combustions engines, combined cycle, electric energy production, heat source, economical comparison.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠAROUN, J. *Projektové řízení výstavby technologického celku.*

Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 60 s.

Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr..

Já, Bc. Josef Šaroun, prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu.
V Brně dne: 24.5.2012

.....

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce doc. Ing. Janu Fiedlerovi, Dr, za shovívavost a morální podporu. Svému konzultantovi Ing.Tomáši Cahovi za podnětné odborné rady ve správný čas. Dále pak své rodině a přítelkyni za celkovou podporu.

OBSAH

ÚVOD.....	2
1. PROJEKTOVÉ ŘÍZENÍ	3
1.1. Postupy a standardy projektového řízení	3
1.2. Účastníci projektového řízení	5
1.3. Fáze řízení projektu	6
1.4. Definice realizovaného projektu	7
2. KONCEPČNÍ STUDIE	9
2.1. Lokalita	9
2.2. Poptávka, nabídka produktů	9
2.3. Podpora KVVET.....	10
2.4. Financování projektu.....	11
2.5. Varianta A, Soustava kogeneračních jednotek	14
2.5.1. Obecný popis technologie Pístových kogeneračních jednotek.....	14
2.5.2. Návrh technologického řešení Varianty A.....	20
2.5.3. Ekonomická analýza Varianty A.....	23
2.6. Varianta B, Paroplynová teplárna	28
2.6.1. Obecný popis technologie Paroplynového cyklu.....	28
2.6.2. Návrh technologického řešení Varianty B.....	31
2.6.3. Ekonomická analýza Varianty B.....	41
2.7. Porovnání a výběr variant.....	45
3. ZAHÁJENÍ PROJEKTU, DOKUMENTACE BASIC DESIGN.....	47
3.1. Zahájení projektu a plánování	47
3.2. Legislativa a Basic Design	48
4. VÝBĚR GENERÁLNÍHO DODAVATELE A UZAVŘENÍ SMLOUVY	50
4.1. Výběr generálního dodavatele	51
4.2. Příprava a uzavření smlouvy	51
5. DETAIL DESIGN, NÁKUP ZAŘÍZENÍ A VÝSTAVBA.....	54
5.1. Detail Design – prováděcí dokumentace	55
5.2. Nákup zařízení a subdodávky	56
5.3. Realizace stavby	56
6. DOKONČENÍ DÍLA, ZKOUŠKY, PŘEDÁNÍ A VYHODNOCENÍ	57
6.1. Druhy a typy zkoušek	57
6.2. Předání a vyhodnocení	58
ZÁVĚR.....	59
POUŽITÉ ZDROJE INFORMACÍ:	61
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	62

ÚVOD

I přes globální snahu o snižování energetické zátěže na planetu se spotřeba elektrické energie neustále zvyšuje. Je to dáno hlavně zvyšující se kvalitou života především v rozvojových zemích a také stálým nárůstem lidské populace na Zemi. Faktem ale zůstává, že se lidstvo snaží postupně tuto situaci řešit neustálým vývojem nových technologií a zvyšováním účinnosti technologií stávajících. Tento trend ovšem nestačí k uspokojení všech energetických potřeb.

Stálým prvkem zůstává výstavba nových energetických zdrojů především v rozvojových oblastech. Ale i u nás energetika stále nabírá na důležitosti. Vzhledem k naší geografické poloze ve středu Evropy máme do budoucna přímo strategický potenciál k zahraničnímu obchodu s kvalitním produktem - elektřinou. Při současné politické situaci našich zahraničních sousedů se bude vývoz této komodity zvyšovat hlavně u odpůrců jaderné energie v Rakousku a teď již i v Německu.

Tato práce specifikuje požadavky, které vznikají při zpracování investičních záměrů na výstavby nových energetických zdrojů. Obsahuje vlastní úkony, které je zapotřebí vykonat při projektovém řízení energetických staveb. Nejprve z pohledu investora a poté z pohledu generálního dodavatele technologií. Celkově by práce měla pomoci při orientaci v oblasti projektování energetických staveb, ať už čerstvým absolventům technických vysokých škol nebo potencionálním investorům. Je zde vyzdvížena důležitost aplikace metod Projektového řízení, protože se jedná o zakázky v řádech desítek až stovek milionů korun. V takových relacích není přípustné dopouštět se chyb, které by vedly k nezdaru projektu.

1. Projektové řízení

Projektové řízení je poměrně mladým oborem. O projektovém řízení, jakožto o oblasti managementu, případně o profesi projektového manažera, se začíná hovořit v podstatě až po druhé světové válce.

Přitom i v dávné minulosti probíhala řada akcí, jež měly projektový charakter. Například stavby různých starověkých monumentů jsou toho dobrým příkladem. Samozřejmě se v těch dobách začaly vyvíjet různé metody, postupy a techniky ke zvládnutí mimořádných, rozsáhlých a organizačně náročných akcí. Ovšem oproti současnosti bylo několik zásadních rozdílů. Vrátime-li se do starověku, pro ambiciózní projekty bylo v rozvinutých civilizacích dostatek zdrojů a neomezené množství času. Například pyramida pro faraona se budovala obvykle i desítky let. Pokud dostatek zdrojů nebyl, uspořádalo se válečné tažení, které zajistilo nové otroky, zlato a další prostředky.

Dnes jsou projekty silně omezeny jak ve zdrojích, tak i v čase. Dnešní doba je jiná: rychlá, dynamická a vzájemně provázaná. Organizace, firmy, podniky a instituce se musí velmi agilně přizpůsobovat neustále se měnícím tržním podmínkám, pokud chtějí přežít.

1.1. Postupy a standardy projektového řízení

V dnešní informačně založené společnosti standardní formy managementu postupně selhávají. I proto se postupně začal rozvíjet obor projektového řízení, jakožto nástroj realizace tolik potřebných změn, které různé podniky a organizace postupně začaly realizovat. Je třeba vnímat, že projektové řízení neznamena jen používání metod a technik, byť ty základní by měl znát každý projektový manažer. Projektové řízení znamená určitou filozofii, styl práce a určitý způsob myšlení.

V současné době se setkáváme s velkou řadou nejrozličnějších opatření, vyhlášek, norem, standardů apod. Standardy v oblasti projektového řízení jsou však jiné. Přestože se někdy hovoří o teorii projektového řízení, opak je pravdou. Standardy projektového řízení obvykle nejsou výmyslem akademiků nebo úředníků neposkvřených praxí, ale soupisem nejlepších zkušeností mnoha významných manažerů, kteří si vše vyzkoušeli na vlastní kůži. Což nevylučuje, že standardy mohou být formulovány a mohou vyznívat poněkud akademicky.

Když hovoříme o projektovém řízení, drobnou komplikací je obrovský prostor, který tato problematika pokrývá. V řízení projektů je obrovské množství nejrozličnějších proměnných, které se měří velmi obtížně. Proto standardy projektového řízení nemohou být určeny v matematicko-technickém smyslu. Stávají se tak spíše doporučením jakou filozofii zvolit, jaké jsou osvědčené metody apod.

Standardů projektového řízení máme více a je zapotřebí tyto vnímat spíše jako inspiraci než jako tvrdý zákon. Jednou ze základních vlastností projektu je jeho jedinečnost, takže to, co se naplno osvědčí v jednom projektu, nemusí ve druhém fungovat dobře.

Na druhou stranu téměř všechny standardy projektového řízení mají podobnou základní filozofii, používají obdobné metody i názvosloví a mají obrovský přínos v tom, že si i pracovníci na projektech dokážou vzájemně porozumět a efektivně spolupracovat.

Mezi hlavní, světové standardy patří PMI, IPMA, PRINCE 2, a do jisté míry i ISO 10 006. Liší se místem vzniku, podkladem, ze kterého byly vytvořeny, i způsobem zpracování. Základní filozofie je téměř totožná, většinou jde jen o jiný úhel pohledu na tutéž oblast.

Project Management Body of Knowledge (PMBoK)

Tento standard vytváří a udržuje Project management Institute (PMI), který sdružuje přes 265 tisíc managerů ze 170 zemí světa.

Základním přístupem je procesní pojetí problematiky projektového řízení. Je definováno pět hlavním rodin procesů, devět oblastí znalostí, jednotlivé procesy a jejich vzájemné vazby. Veškeré procesy a procesní kroky mají definovány své postupy, výstupy a nástroje transformace (úkony, metody, techniky). S tímto standardem se v tuzemsku můžeme setkat především prostřednictvím IT firem a dalších subjektů, vlastněných americkým kapitálem a přinášejících si tento standard v kmenových směrnících.

Project IN Controlled Environments – PRINCE 2

Britský standard, v tomto případě jde opět o procesní pojetí, které vzniklo na základě britského ministerstva průmyslu a obchodu. V určité době potřebovala vláda a státní správa mnoho IT projektů, jejichž kvalita však byla velmi proměnlivá – projekty měly tendenci nedodržovat svůj harmonogram, rozpočet, a ani s dosahováním cílů to nebylo příliš slavné. Proto zmíněná OGC vyvinula metodiku, ze které se stal standard a kdokoliv chtěl státní zakázku, musel podle této metodiky postupovat (a manažer projektu musel být certifikován). Poměrně inspirativní přístup. Přestože standard vznikl především pro IT prostředí, v současné podobě je použitelný obecně. V tuzemsku se s tímto standardem lze setkat u dceřiných firem, tentokrát britských společností.

ISO 10 006

V tomto případě nejde o komplexní standard, jak tomu bylo u dvou výše zmíněných. Nejde ani o samostatnou normu, ale o tzv. Směrnici jakosti v managementu projektu. ISO jako takové zatím vlastní standard projektového řízení nemá, byť na něm pracuje. Přesto tento doplněk rodiny ISO 9000 obsahuje návod, jak by měl být popsán subsystém integrovaného manažerského systému na bázi platformy ISO 9000:2000 s tematikou řízení projektů. Pokud vlastní nějaká společnost certifikát systému řízení kvality dle ISO 9000:2000 a zároveň realizuje projekty, měla by být problematika projektového řízení popsána v souladu s ISO 10 006 – což však v současné době není předmětem certifikace a samostatná směrnice ISO 10 006 ani certifikovatelná není.

IPMA Competence Baseline – ICB

Na rozdíl od předchozích je pojetí standardu vytvářeného a spravovaného profesní organizací *International Project Management Association* kompetenční. Standard není zaměřen na přesnou podobu definovaných procesů a jejich konkrétní aplikaci, ale na schopnosti a dovednosti (kompetence) – projektových, programových a portfolio manažerů a členů jejich týmů. Problematika projektového řízení je rozdělena do tří základních kompetenčních oblastí – technické (metody, techniky, nástroje), behaviorální (měkké dovednosti) a kontextové kompetence (integrační a systémové znalosti a dovednosti). Tyto oblasti jsou pak členěny na tzv. elementy kompetencí, popisující určitá témata, doporučující procesní kroky, definující požadavky na uchazeče o certifikaci a naznačující vazby na ostatní elementy. V České republice je IPMA zastoupena prostřednictvím Společnosti pro projektové řízení, o.s. – SPŘ.

1.2. Účastníci projektového řízení

Účastníkem projektového řízení může být kdokoli, kdo je ovlivněn tím, co se projekt snaží realizovat a nebo se bude muset vypořádat s výstupy z projektu.

Prvním a nejdůležitějším účastníkem projektu je **vlastník**, který chce uskutečnit investiční projekt. Vlastník musí být schopen investiční projekt nejprve definovat a poté jej posoudit z ekonomického hlediska a rozhodnout, zda se má projekt realizovat či nikoliv. Rozhodnutím o realizaci projektu vlastník rozhodne o alokaci svých finančních zdrojů na konkrétní záměr a nese tím hlavní investiční riziko spojené s projektem tzv. riziko nedosažení čistých výnosů. Výnosy musí pokrýt náklady projektu a vytvořit zisk.

Staví-li vlastník nemovitost s cílem, že ji po dokončení prodá nebo pronajme, potom se označuje jako **developer**. Pro developera je klíčovou schopností nalezení pozemku a určení správného typu nemovitosti, kterou je na trhu možné prodat za vyšší cenu, než jaká odpovídá nákladům na výstavbu. Pro realizaci projektu je většinou nutno zajistit **investora** v případě, že vlastník nedisponuje dostatkem vlastních zdrojů a neplní roli investora sám.

Vlastník nebo developer představuje hráče, který nese riziko spojené s budoucími výnosy projektu na trhu. Při realizaci investičního projektu vznikají rizika spojená s vlastní výstavbou. Jde o nesplnění termínu, překročení rozpočtu a špatnou funkci a kvalitu stavby. Tato rizika výstavby mohou být smlouvami přenesena na druhou skupinu aktérů, kteří pro to mají odborné předpoklady a znalosti. Je to primárně projekční organizace, zkráceně **projektant**, která je odpovědná za schematický a detailní návrh vyjádřený v projektové dokumentaci. U technologických projektů je klíčovým hráčem poskytovatel licence, jinak řečeno **licensor**, který je držitelem znalostí, jak lze ze zadaných vstupů vyrobit požadované produkty. Podstatou licence je znalost sledu operací a klíčových zařízení pro jednotlivé operace, které zajišťují požadovaný produkt. Znalosti obsažené v licenci jsou hlavním vstupem pro projektanta. Na těchto informacích staví další detailní rozpracování návrhu.

Důležitým účastníkem je **dodavatel stavby**, který na základě detailního návrhu projektanta nakoupí potřebné materiály, stroje, zařízení a provede vlastní stavbu, buď vlastními pracovníky nebo s pomocí subdodavatelů.

Za vyššího dodavatele považujeme takového dodavatele, který v jednom smluvním vztahu s investorem realizuje podstatnou část projektu. Pokud realizuje projekt celý, nazývá se generální dodavatel (*Prime Contractor*). Generální dodavatel, který má za povinnost stavbu vyprojektovat (*Engineering*), nakoupit všechna zařízení a subdodávky (*Procurement*) a stavbu postavit (*Construction*), se nazývá dodavatel stavby na klíč (*Turn-key Contractor*). Používá se pro něj zkratka EPC kontraktor, která výstižně postihuje všechny tři hlavní činnosti dodavatele. Velmi často také v literatuře najdeme pojem *Design/Build Contractor*, který označuje totéž. Neméně důležití jsou také **zákazníci a další obchodní partneři**.

Do investičního projektu zasahují také strany, které nejsou vázány k vlastníkově žádnou smlouvou, ale jsou omezeny pouze platnými zákony. Jsou to v první řadě orgány státní správy, které se podílejí na povolení k zahájení stavby a na uvedení stavby do provozu.

Užívá se pro ně označení **dotčené správní orgány**, zkratka DSO. Tyto orgány ze zákona kontrolují, zda bude stavba provedena v souladu s veřejnými zájmy. Mají právo a povinnost se ke stavbě vyjádřit a vlastník musí jejich námitkám vyhovět. Nejdůležitější je stavební úřad, který stavbu povoluje. Jako další je možné jmenovat orgány požární ochrany, které přezkoumávají bezpečnost stavby z hlediska prevence a ochrany před požárem. Poslední skupinou jsou **účastníci řízení**, což jsou jednotlivci, společnosti a instituce, kteří jsou stavbou ovlivněni a mají ze zákona právo se k stavbě v průběhu povolovacích řízení vyjádřit.

Typickým účastníkem řízení je majitel sousedního pozemku. Účastníkem řízení je vždy vlastník, který je schopen ovlivnit chování těchto hráčů velmi omezeně, pouze v rámci platných zákonů. Lhůty povolovacích řízení se dají dohadovat za předpokladu, že připomínky dotčených orgánů a účastníků řízení jsou kladné a nevyžadují podstatné změny navrhovaného řešení. Zákon sice stanovuje časové lhůty i na vyřízení námitek, ale pokud se ve správním řízení udělá procesní chyba, kterou protistrana napadne u soudu, pak se z povolovacích řízení stávají dlouholeté nikdy nekončící soudní spory.

1.3. Fáze řízení projektu

Obecně lze řízení projektu rozdělit na:

- **předprojektovou fázi**
- **projektovou fázi**
- **poprojektovou fázi**

Jedná se o etapy, které se nepřekrývají a mohou být realizovány i s určitým časovým odstupem. Každou fázi lze však dále členit do etap, které se pak mohou překrývat. Nejvíce je to zřejmé ve druhé fázi při realizaci projektu.

Předprojektová fáze

V předprojektové fázi se zpracovává tzv. **studie příležitosti**, která má odpovědět na otázku: Je vůbec správná doba navrhnout a realizovat zamýšlený projekt? Studie musí vzít v úvahu všechny dostupné informace a podněty z oblasti trhu, očekávání a podněty od zákazníků, podněty získané analýzou chování konkurence, podněty z oblasti rozvoje vědy a techniky. Současně je nutné analyzovat možné příležitosti a také případné hrozby a hledat na ně vhodné reakce. K tomuto je využíváno mnoho metod, kde mezi nejznámější patří tzv. SWOT analýza. Součástí této studie je již základní koncepce a obsah záměru (první formulace obsahu projektu), odhad nadějnosti záměru (první hrubé odhady nákladů a přínosů, jejich porovnání), základní předpoklady (seznam výchozích předpokladů a seznam základních faktorů úspěchu), upozornění na významná rizika (první odhad celkového rizika), závěrečná doporučení (zda je vhodné se dále z pohledu času, zdrojů a finanční situace projektem zabývat).

Dalším dokumentem této fáze je **studie proveditelnosti**. Pokud se na základě studie příležitosti rozhodne vlastník projekt opravdu realizovat, měla by tato studie ukázat nejvhodnější cestu a upřesnit obsah projektu, termíny a náklady. Tato studie bývá obvykle dvakrát obsáhlejší než studie příležitosti a dle rozsahu projektu má cca 7 až 25 stran. Mimo upřesnění délky projektu, přínosů, nákladů a rizik, obsahuje také návrh milníků a finančně ekonomickou analýzu.

V některých případech se zpracovává jen jeden dokument tzv. předprojektová úvaha, která kombinuje uvedené dvě studie. Jedná se většinou o jednodušší projekty. V této fázi projektu musíme dostat odpověď na otázku odkud jdeme, kam chceme dojít, jakou cestu zvolíme a že má smysl projekt realizovat.

Projektová fáze

Toto období zahrnuje sestavení projektového týmu, vytvoření plánu a jeho realizaci, která vrcholí předáním výsledků. Obvykle se člení na zahájení, kde se upřesní cíle projektu, personální obsazení, kompetence, časový rámec, komunikace, náklady atd. Toto většinou může pokrýt *zakládací listina projektu*, která je základním projektovým dokumentem. Další etapa projektové fáze je plánování, kdy je vytvářen plán projektu, který se nazývá *baselin*.

Následuje vlastní realizace, která se obvykle zahajuje setkáním zainteresovaných stran a oznámením o realizaci projektu. V průběhu této etapy je nutno sledovat a porovnávat stav realizace projektu s plánem a v případě zjištění odchylek provádět korekční opatření a případně i upravovat základní plán. Poslední etapa této fáze je předání výstupů a ukončení projektu, zde dochází k protokolárnímu předání výstupů a k podpisu akceptačních protokolů.

Poprojektová fáze

Cílem této etapy je vyhodnotit projekt. Nejedná se jen o to, zjistit zda se podařilo naplnit trojimperativ (tedy dosažení cílu ve vymezeném čase s použitím přidělených zdrojů), ale realizace projektu přináší řadu nových poznatků a zkušeností, proto je třeba analyzovat celý průběh projektu a určit dobré, ale i špatné zkušenosti. U mnoha projektů nejde část parametrů vyhodnotit ihned v okamžiku jejich ukončení, zde je nutno naplánovat termín a způsob vyhodnocení přínosů projektu a závěrečně ho vyhodnotit až po tomto termínu. Zde používáme tzv. kritéria úspěšnosti mezi která patří, že je projekt plně funkční, je na trhu včas v plánované ceně a kvalitě, je dosahována předpokládaná návratnost a je uspokojeno očekávání všech zúčastněných stran atd. V určité fázi lze rovněž srovnat finanční kritéria zpracovaná v předprojektové fázi jako návratnost investice (ROI-return of investment) či čistá současná hodnota (NVP-net presen value).

1.4. Definice realizovaného projektu

V této práci jsou řešeny investiční projekty v oblasti energetiky. Investiční projekt (dále jen Projekt) je definován jako časově ohraničená činnost směřující k vytvoření unikátního produktu nebo služby. Projekt je charakterizován svojí unikátností a dočasností narozdíl od podnikového procesu. V souladu se zadáním diplomové práce bude chápán projekt jako investice do stavby nového energetického zdroje a popis postupů vedoucích k jeho samotnému postavení a uvedení do provozu. Investování finančních prostředků do výstavby nového energetického zdroje musí být realizováno takovým způsobem, aby poměr mezi výnosností a riziky byl vyšší než kdyby byl investovaný kapitál zhodnocen standardními finančními nástroji. Vzhledem k zadaným cílům této práce a rozsahu řešeného projektu nelze rozpracovávat všechny fáze projektu v plném rozsahu. Co se týče předprojektové fáze, zde bude pozornost věnována zejména porovnání dvou zadaných variant energetických Zdrojů, které je zpracováno formou koncepční studie.

Pro lepší pochopení následujících fází projektu uvádím v této kapitole vysvětlení některých základních technických pojmů.

Kogenerace

Kogenerací označujeme Kombinovanou výrobu elektrické a tepelné energie, zkráceně KVET. Hlavní myšlenkou kogenerace je zvýšení účinnosti při výrobě elektrické energie využitím odpadního tepla pro další účely. Velké výrobní elektrárny i tepla jsou teplárny. Menším kombinovaným výrobnám elektrické a tepelné energie se říká kogenerační jednotky.

Zdroj

Z termomechanického hlediska je kogenerační zdroj zařízení, které přeměňuje chemickou energii obsaženou v palivu na vysoce ušlechtilou energii elektrickou a energii tepelnou. Z hlediska projektového je Zdroj výrobní energií, která spotřebovává palivo a vyrábí z něj produkt. Produktem jsou tepelná a elektrická energie.

Teplárenský modul

Teplárenský modul je poměr mezi vyrobenou elektrickou energií a užitečným tepelným výkonem. Obecně se snažíme o co nejvyšší hodnotu teplárenského modulu. To ze dvou důvodů. Proto, že elektrická energie je snadno transformovatelná na jiný druh energie s vysokou účinností. A také proto, že elektřinu jsme schopni dopravit i na velké vzdálenosti s jen nízkými ztrátami. Vyrobené teplo se využívá rovnou u výrobní nebo v blízkém okolí.

$$e = \frac{E}{Q_d} [-] \quad \text{Rce. 1 – Teplárenský modul [2]}$$

Teplárenská účinnost

Teplárenská účinnost je účinnost, kterou vyhodnocujeme u tepláren a kogeneračních jednotek. Jedná se o poměr vyrobené elektrické a tepelné energie ku velikosti energie dodané v palivu.

$$\eta_{tep} = \frac{E + Q_d}{Q_{pal}} [-] \quad \text{Rce. 2 – Teplárenská účinnost [2]}$$

E [W] -elektrická energie
 Q_d [W] -využitá tepelná energie
 Q_{pal} [W] -energie přivedená v palivu

2. Koncepční studie

Při navrhování projektu je vždy hlavním cílem investora, co nejlépe zhodnotit svůj vklad. Při řešení energetických projektů můžeme vyčlenit hlavní aspekty, na které je zapotřebí se primárně soustředit. Jedná se o druh vyrobeného produktu, jinými slovy množství energie a jednotková cena, za niž jsme schopni energii výhodně prodat. Tohle ovšem velice závisí na lokalitě, ve které bude energetické zařízení postaveno. Zajisté je výhodné nemuset budovat dlouhé energetické sítě, především teplovody mohou velice výrazně navýšit velikost investice do rozvodné sítě. Za vhodnou lokalitu pro výstavbu energetického zdroje lze považovat kompromis mezi blízkostí odběratelů energií a výběrem vhodného zdroje paliva.

Dalším zásadním prvkem je podpora KVET. Všechny prvky, které budou rozhodovat o tom, jestli se zamýšlený projekt vyplatí uskutečnit, jinými slovy jestli jeho výnosnost bude dostatečně vysoká a rizika spojená s výstavbou přijatelná, jsou důkladně rozebrány v této Studii projektu. Z pohledu investora je nutné, aby zvažil všechny tyto aspekty.

2.1. Lokalita

Zásadním parametrem pro jakoukoliv novou výstavbu je lokalita, ve které se bude stavět. Jestliže se nejedná přímo o náhradu za již nefunkční nebo navyšování výkonu stávajícího zdroje, je dobré zvolit lokalitu takovým způsobem, aby mohlo být co nejefektivněji využíváno předností zvolené lokality.

Charakteristika zvolené lokality:

- Ve vzdálenosti cca 700 m je k dispozici páteřní síť VTL plynovodu DN 500 na tlaku 4-5 MPa.
- Ve vzdálenosti cca 500 m od místa zdroje je možné vyvedení výkonu do rozvodny typu H na napěťové úrovni 110 kV (2 volná pole).
- Ve vzdálenosti cca 1500 m je stávající občanská zástavba se systémem CZT. V lokalitě je stávající horkovodní síť s centrální výměňkovou stanicí (110/70°C). Špičkové odběry jsou na úrovni 40 MWt.
- Venkovní výpočtová teplota -12°C, relativní vlhkost 60%.

2.2. Poptávka, nabídka produktů

Vzhledem k dostupnosti pouze zemního plynu, jako paliva z blízkého vysokotlakého plynovodu bude nejefektivnější zaměřit se právě na toto palivo. Předpokládané odběry poptáme u dodavatele zemního plynu. Na základě jednání s dodavatelem zarezervujeme potřebný výkon a uzavřeme smlouvu o dodávkách zemního plynu.

Produkty energetického zdroje jsou elektrická a tepelná energie. Jestliže se má projekt vyplatit, je nutné uzavřít smlouvu o dodávkách tepla do blízké zástavby s rozvodnou CZT s místním dodavatelem tepla, nebo bytovým družstvem do kterého zástavba patří, popř. s koncovými odběrateli. Před podepsáním smluv je vhodné udělat průzkum odběratelů a konkrétně definovat služby spojené se zásobováním teplem. Podmínkou bude pokrytí

veškerých odběrů a zároveň využití maxima vyrobeného tepla. Podle těchto údajů se bude řídit instalovaný výkon teplárny tak, aby dokázal pokrýt i špičkové odběry.

Elektrickou energii vyrobenou novým zdrojem budeme dodávat do sítě skrze blízkou rozvodnu typu H, která je na napěťové úrovni 110 kV. Společně s projektem je nutné zažádat o připojení zdroje k distribuční soustavě u územně příslušného distributora elektřiny (např. EON, ČEZ, PRE). A po schválení uzavřít s distributorem elektřiny smlouvu o připojení k distribuční soustavě. Smlouvy o připojení k distribuční soustavě definuje zákon č. 458/2000 Sb. a vyhláška Energetického regulačního úřadu č. 51/2006 Sb.

Výkupní cena byla určena z burzovních předpovědí pro rok 2014 na 47,55 €. Při současném kurzu eura je tedy cena silové elektřiny 1225 Kč/MWh.



Obr. 1 –Vývoj ceny silové elektřiny na burze [10]

2.3. Podpora KVET

Stát prostřednictvím ERÚ stimuluje rozvoj vybraných technologií dle Státní energetické koncepce. Kombinovaná výroba elektřiny a tepelné energie (Kogenerace) je státem podporovaný způsob využívání primárních paliv. Každé zařízení vyrábějící elektrický proud a zároveň dále využívající tepelnou energii zvyšuje svoji celkovou účinnost.

Dle bodu (2) Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2011 ze dne 23. listopadu 2011, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů pro elektřinu vyrobenou z kombinované výroby elektřiny a tepla platí tyto ceny:

Výroba elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla	Výše příspěvku k ceně elektřiny v Kč/MWh		
	Základní pásmo (24 hodin)	VT 8 hodin	VT 12 hodin
Výrobní s instalovaným výkonem do 1 MW včetně, s výjimkou výrobní využívající obnovitelné zdroje energie nebo spalující degazační plyn	590	1630	1150
Výrobní s instalovaným výkonem 1 MW až 5 MW včetně, s výjimkou výrobní využívající obnovitelné zdroje energie nebo spalující degazační plyn	500	1250	870
Výrobní s instalovaným výkonem nad 5 MW, s výjimkou výrobní využívající obnovitelné zdroje energie nebo spalující degazační plyn	45	-	-
Kombinovaná výroba elektřiny a tepla využívající obnovitelné zdroje energie nebo spalující degazační plyn	45	-	-

Tab. 1 – Výše příspěvku k ceně elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla [7]

Pro naši projektovanou teplárnu tedy příspěvek za kombinovanou výrobu elektřiny a tepla činí:

45 Kč/MWh

Dále pro decentralní výrobu elektrické energie dle bodu (1.1.) Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2009 ze dne 25. listopadu 2009, kterým se stanovují ceny elektřiny a souvisejících služeb „Výrobce elektřiny, jehož zařízení je připojeno do napěťové hladiny VVN distribuční soustavy, účtuje na základě smlouvy územně příslušnému provozovateli distribuční soustavy cenu **20,00 Kč/MWh** za každou MWh skutečně dodané elektřiny do distribuční soustavy naměřené v předávacím místě výrobce elektřiny.“

2.4. Financování projektu

Finanční řízení projektu zajišťuje, že ve všech fázích projektu jeho vedení ví, jak velké finanční zdroje jsou potřebné pro každý časový interval v projektu. Ve finančním řízení jsou zahrnuty všechny činnosti potřebné pro plánování, monitorování a kontroling nákladů v průběhu životního cyklu projektu, včetně odhadu nákladů v počátečních fázích projektu a včetně hodnocení projektu.

Potřebné finanční zdroje závisí na výši nákladů projektu, na časovém harmonogramu a na platebních podmínkách stanovených ve smlouvě. Vedení projektu také analyzuje dostupné finanční zdroje a musí zvládat překračování jejich čerpání, nebo jejich nedostatečné čerpání.

Náklady projektu je možné členit z různých hledisek. Pro sestavení plánu rozpočtu je vhodné stanovit nejprve přímé náklady, které přímo souvisejí s realizací projektu. Nepřímé náklady jsou takové, které nelze jednoznačně přiřadit ke konkrétnímu projektu, jsou to společné náklady celé organizace. Vedení organizace určuje, jak velký podíl z celkových nepřímých nákladů organizace bude přiřazen k jednotlivým projektům. Příkladem nepřímých nákladů je část osobních nákladů managementu organizace, část nákladů na provoz budov, náklady na podpůrná oddělení organizace (marketing, vedení účetnictví organizace) a část daní a poplatků, které platí organizace.

V praxi se můžeme setkat s mnoha různými metodami oceňování nákladů, od více či méně „expertních“ odhadů až po složité matematické postupy. Výběr metody vždy závisí na typu projektu, jeho rozsahu a míře složitosti.

Analogické odhadování

Při odhadu nákladů se hojně využívají historické informace organizace, např. konečné rozpočty předchozích projektů, které realizovaly obdobný typ nákladů, veřejné či komerční databáze o cenách. Při odhadu nákladů, které budou realizovány nákupem od externího subjektu, je vhodné provést při tvorbě rozpočtu nákladů průzkum cen odesláním předběžné poptávky třem potenciálním dodavatelům.

Tento proces, tzv. „odhadování shora dolů“, je založen na informacích o minulých činnostech, bere za základ skutečné náklady předešlých projektů a aplikuje je na současný projekt. Přitom bere v úvahu rozsah a velikost současného projektu a další proměnné. Tento přístup není příliš náročný, ale je méně přesný.

Expertní odhady

Jedná se o využití zkušeností a znalostí problematiky při odhadování nákladů. Tato varianta se používá nejčastěji v případech, kdy je příliš časově náročné nebo nákladné zjišťovat ceny z ověřitelných zdrojů.

Parametrické modelování

Parametrické modelování používá matematický model založený na známých parametrech, které se mohou lišit podle typu prováděné práce. Existují dva typy parametrického odhadování:

- **Regresní analýza.** Představuje statistický přístup odhadování budoucích hodnot, který je založený na předešlých hodnotách.
- **Křivka osvojování znalostí.** Odhad je založen na opakujících se činnostech, prováděných v projektu pořád dokola. Náklady na jednotku se snižují tak, jak se zvyšuje zkušenost pracovní síly, protože se tím zkracuje čas potřebný k dokončení činnosti.

V rámci řízení nákladů projektu se vytváří rozpočet celého projektu. Rozpočet projektu musí obsahovat také položku, která je držena jako rezerva pro krytí nepředvídatelných výdajů, jakými jsou náhodné události, různé nároky třetích stran, reklamace nebo prosté překročení nákladů. Výše rezervy nejčastěji bývá stanovena jako procento celkových výdajů projektu (obvykle se jedná o jednotky procent) nebo se mohou stanovit rezervy pouze pro některé

položky rozpočtu. Také mají být k dispozici určité fondy na odměny příznivých výsledků, jako je např. úspěšné řízení rizik nebo úspěšná realizace příležitosti.

Budou-li použity zálohové platby, musí být prováděny se zvláštní starostlivostí, neboť bývají často zdrojem problémů. Cash-flow projektu musí být neustále aktuálně počítáno a vyhodnocováno.

Finanční řízení projektu zahrnuje proces získávání financí tím nejrozumnějším a nejpříznivějším způsobem. Pro financování projektů existují různé možnosti: interní finanční zdroje, zdroje z přidružených společností či dceřiných firem, bankovní půjčky nebo různá konsorcia pro vybudování, provozování a prodej, případně sdílení vlastnictví toho, co může být projektem dodáno. Pro daný projekt je třeba tyto možnosti přezkoumat a vybrat mezi nimi vhodnou možnost financování v dostatečném předstihu před zahájením projektu.

Projektové financování má vzhledem k investiční povaze projektu charakter dlouhodobého financování. Je třeba vycházet ze skutečnosti, že projekty investiční povahy je nutno profinancovat dlouhodobými finančními zdroji. Použití krátkodobých zdrojů na financování investičních projektů by sice bylo levnější, ale zároveň by bylo i značně rizikové.

Při výběru konkrétních zdrojů financování je účelné v první řadě zvážit náklady na získání a držbu finančních zdrojů projektu, a dále je třeba vzít do úvahy i další faktory jakými jsou např. povaha a rizikovost příslušného oboru podnikání, právní formu daného subjektu nebo velikost a stabilita dosahovaného zisku.

Financování projektů investičního rázu je založeno na využití dlouhodobých zdrojů financování, a to jak **zdrojů vlastních** (které jsou ve vlastnictví firmy a jejich vlastníků), tak **zdrojů cizích** (tj. dluhů a jiných závazků).

Z pohledu klasického financování podniku lze využít široké škály zdrojů financování, kdy nejširší možnost výběru mají společnosti akciové. Z pohledu projektového financování je však škála využitelných zdrojů omezená, jednak v důsledku účelovosti využití těchto zdrojů (např. rezervní fond či rezervy), jednak v důsledku jejich omezené nabídky v naší zemi (např. dlouhodobé směnky, dlouhodobé zálohy od odběratelů).

Z vlastních zdrojů přicházejí reálně do úvahy pro financování projektů především nerozdělený zisk, odpisy a emise akcií, z cizích zdrojů pak bankovní úvěry, finanční leasing a podnikové dluhopisy.

2.5. Varianta A, Soustava kogeneračních jednotek

2.5.1. Obecný popis technologie Pístových kogeneračních jednotek

Menším zařízením, které z primárního paliva vyrábí elektřinu a teplo se říká Kogenerační jednotky. Podle způsobu přeměny paliva v primární jednotce dělíme kogenerační jednotky na:

- Jednotky s přímou přeměnou energie
- Jednotky s nepřímou přeměnou energie

Využívaným zástupcem jednotek s přímou přeměnou energie jsou **Palivové články**, které spotřebovávají vodík k chemické výrobě stejnosměrného proudu za velkého vývinu tepla. Velkou výhodou je vysoká účinnost využití energie vodíku, téměř nulové emise a v neposlední řadě taky bezhlučný provoz. Naopak nevýhodou jsou zatím vysoké pořizovací náklady a vlastnosti vodíku, jako primárního zdroje energie Palivových článků.

V praxi se častěji využívá jednotek s nepřímou přeměnou energie. Ať už jsou to jednotky kde jako primární jednotky pracují **Stirlingovi motory**, nebo se využívá **Organického Rankinova cyklu**. Do popředí se již delší dobu dostávají plynové turbíny o velmi malých výkonech, kterým říkáme **Mikroturbíny**. Ty nejspíš mají před sebou velkou budoucnost, protože vzhledem k trendu vývoje mikroturbín, který směřuje k malým rozměrům a jmenovitým výkonům, by se upotřebily i na vytápění větších rodinných domů. Překážkou v masovém využití mikroturbín je ale stále jejich pořizovací cena, která dělá investici do této technologie nezajímavou.

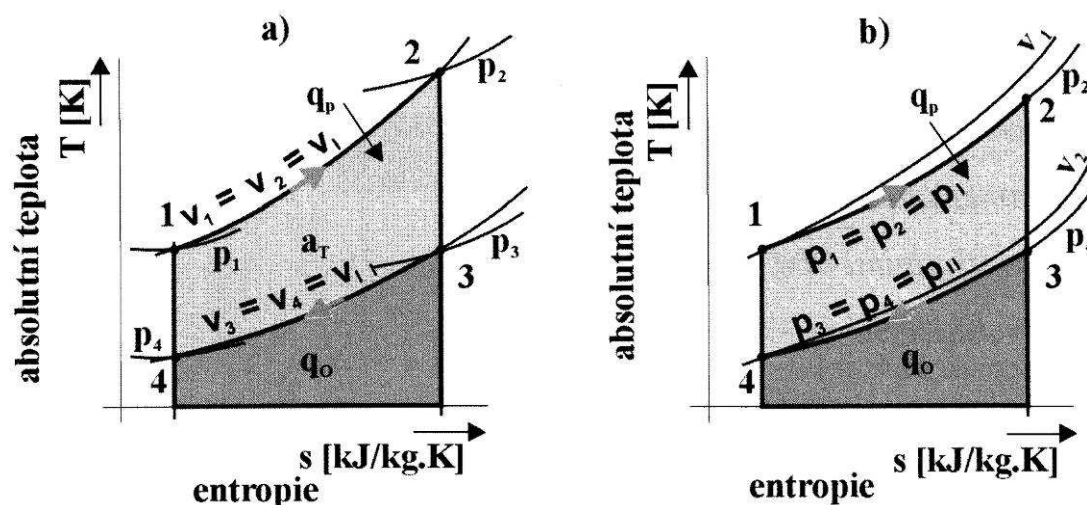
Nejčastějším typem kogeneračních jednotek jsou **jednotky s pístovými spalovacími motory**. Tyto jednotky konstrukčně vychází z motorů užívaných v dopravě (automobily, vlaky, lodě..). Pístové motory díky dlouhodobé sériové výrobě dosáhly vysokých kvalit v účinnosti. Díky masovému využití v dopravě prodělaly dlouhý vývoj i v environmentální oblasti a tak dnešní spalovací motory jsou daleko méně hlučné a splňují přísné nároky na čistotu zplodin. Využitím výpočetní techniky lze moderní spalovací motory lépe navrhovat, analyzovat a tím dosahovat co nejefektivnějšího provozu.

Spalovací motory dělíme podle:

- Způsobu zapalování paliva
- Typy použitého paliva
- Počtu rovnoměrných pohybů použitých pro tepelný oběh
- Počtu a způsobu řazení válců
- Způsobu úpravy spalovacího vzduchu
- Rychlosti otáčení hřídele

Rozhodující dělení je podle způsobu zapálení palivové směsi ve válci. Dělí se do dvou skupin:

- Vznětové motory
- Zážehové motory



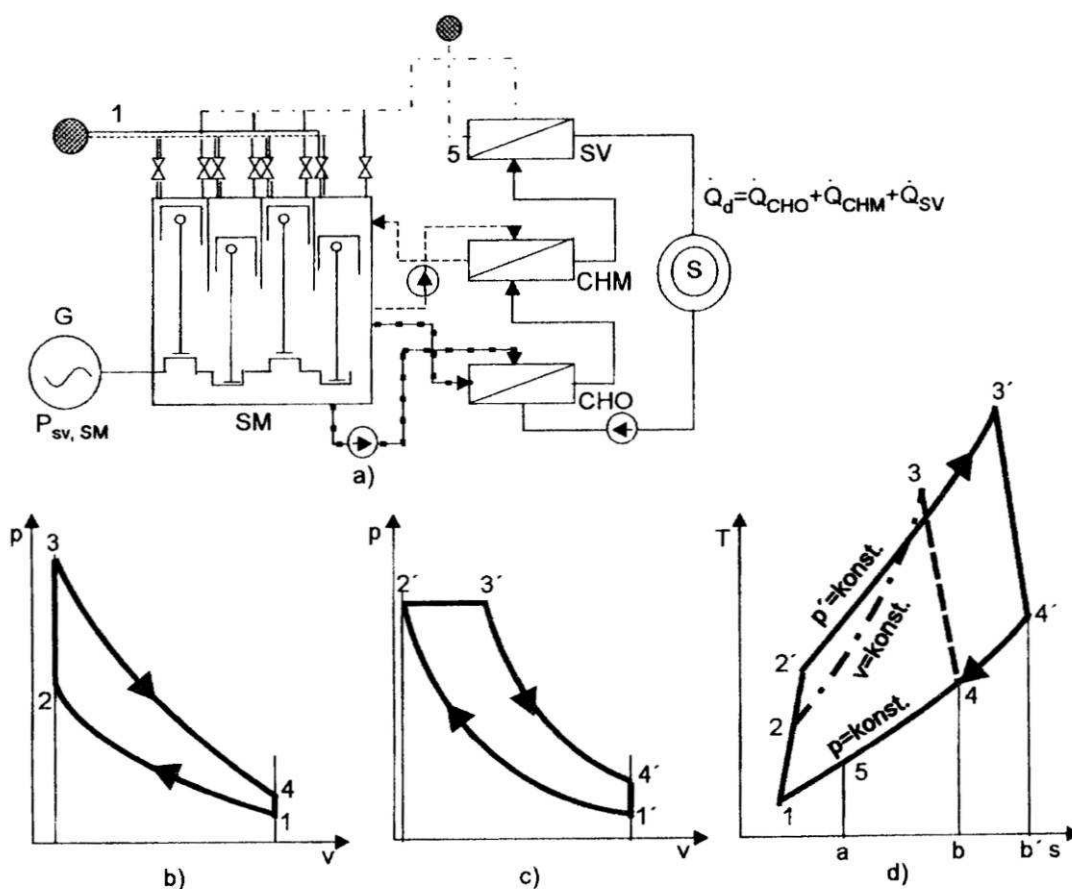
Obr. 2 – Tepelný oběh se spalovacími motory [4]

- a) Ottův cyklus (Zážehové motory)
- b) Dieselův cyklus (Vznětové motory)

U *vznětových motorů* (někdy je označujeme jako Naftové motory, nebo Diesellové motory), dochází k samovolnému zapálení paliva, které je vstřikováno do stlačeného horkého vzduchu ve chvíli dosažení zápalných hodnot směsi. K přívodu tepla dochází při konstantním tlaku. Tento tepelný oběh se nazývá Dieselův. Využitím zpožděného zapalování a hoření snižují moderní vznětové motory emise oxidů dusíku a jsou tak mnohem šetrnější k životnímu prostředí.

Zážehové motory zapalují směs, kterou tvoří palivo a horký vzduch, elektrickou jiskrou. Tepelný cyklus ve kterém zážehové motory pracují se jmenuje Ottův cyklus. Teoreticky zde dochází k přívodu tepla za konstantního objemu. Zapálení směsi může probíhat:

- V otevřené spalovací komoře – zapálení probíhá přímo ve spalovací komoře. Tento typ zažehnutí je vhodný pro motory, které pracují se stechiometrickým poměrem vzduchu ku palivu. Tzn., že ve spalínách není žádné nevyužité palivo ani vzduch.
- S předzápalnou komorou – k zapálení dojde v malé komoře v hlavě válce, kde se vznítí bohatá spalovací směs (v komoře je přebytek paliva). Tím vznikne dostatečná energie k zapálení chudé směsi (v komoře je přebytek vzduchu) v hlavní spalovací komoře.



Obr. 3 – Kogenerace se spalovacím motorem [2]

- a) Schéma spalovacího motoru (SM) a odvádění tepla z chlazení oleje ve výměníku (CHO), odvádění tepla z chlazení motoru ve výměníku (CHM), a odvádění tepla ve spalinovém výměníku (SV), (SM-spalovací motor, G-elektrický generátor, S-spotřebič tepla)
- b) Oběh SM s přiváděním tepla při konstantním objemu $v = \text{konst}$ v diagramu p-v (zážehový motor)
- c) Oběh SM s přiváděním tepla při konstantním tlaku $p = \text{konst}$ v diagramu p-v (vznětový motor)
- d) oběh SM v T-s diagramu s přiváděním tepla při $v = \text{konst}$ a $p = \text{konst}$

Palivo

Spalovací motory využívají ke své práci paliva **kapalná** nebo **plynná**. Běžné motory v dopravě stále využívají nafty a benzínu, méně často jiných paliv bohatých na vodík, jako je etalon. Ten v dnešních podmínkách je pořád populárnější hlavně v zahraničních oblastech rozvojových zemí, které nemají své přírodní zdroje ropy. Ale i Evropská Unie která od roku 2010 ve formě předpisu požaduje využití regenerativních paliv u automobilů. Největší šanci tak má právě etanol ve formě Bioethanolu, což je označení pro ethanol vyrobený technologií alkoholového kvašení z biomasy. Pro využití v energetice jsou ovšem tyto paliva drahá a provoz by byl neekonomický. Je to však léty prověřená, spolehlivá technologie. Energeticky se tedy využívají zatím jen u ostrovních provozů v lokalitách které by bylo obtížné a neefektivní elektrifikovat (např. horské chaty, armádní objekty apod.).

V současné době se však stále častěji využívá paliv plyných, vzhledem k vysokým cenám kapalných paliv. Kogenerační jednotky se spalovacími motory využívají z pravidla jen paliva plyná, nejen kvůli lepší dostupnosti, ale i kvůli nižší ceně. Nejčastějším plyným palivem je Zemní plyn. Dalšími často využívanými palivy jsou bioplyn, LPG, nebo důlní plyn. Využíváním odpadních plynů bohatých na metan se investice do energetické zdroje stává mnohem lukrativnější, i když čerpaný plyn není úplně čistý. Na pročištění plynu před spalovací jednotkou slouží běžně dodávaná zařízení k úpravě bioplynu, skládkového či důlního plynu. Využívá se u KJ s výkony od 200kW do 1200kW. Jednotky zařazené před samotnou KJ plyn chladí, suší a celkově upravují pro lepší spalitelnost. Zařazením této jednotky na úpravu plynů dosahujeme vyšší spolehlivosti provozu Kogenerační jednotky a celé technologie kogenerace. Nižší poruchovost a nižší servisní intervaly, např. kvůli výměně oleje apod. Úpravou plynu tak snižujeme provozní náklady.

Počet pohybů

Spalovací motory můžeme také dělit podle počtu posuvů pístu za jeden cyklus tepelného oběhu na:

- Dvoutaktní
- Čtyřtaktní

Při energetickém využití spalovacích motorů v KJ se využívá zásadně čtyřtaktních motorů, protože kvalitněji spalují palivo, dosahují vyšších účinností a nevzniká tolik emisí jako u dvoutaktních motorů.

Na chod jednotky má také velký vliv počet válců. Čím je počet válců vyšší, tím je chod jednotky stabilnější a plynulejší. Podle uspořádání válců v motoru dosahujeme s vyšším počtem válců rovnoměrnějšího průběhu kroutícího momentu na hřídeli.

Podle rychlosti otáčení hřídele za minutu se spalovací motory rozdělují [4]:

- Pomaloběžné (55-275 [ot/min])
- Se střídavými otáčkami (276-1000 [ot/min])
- Rychloběžné (1001-3600 [ot/min])

Účinnost

Protože spalovací motory pracují v Ottově a Dieselově cyklu, jejich tepelnou účinnost můžeme spočítat dosazením do základního vztahu pro účinnost tepelných motorů. Pak pro Ottův cyklus platí že:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\chi-1}} [-] \quad Rce. 3 - [4]$$

„Účinnost je závislá na kompresním poměru ϵ a je zvláště u motorů malých výkonů menší než u Dieselových motorů, které pracují s větším kompresním poměrem. Elektrická účinnost spalovacích motorů se v závislosti na výkonu pohybuje v rozmezí 28 - 42 %. Podle rovnice 3 roste účinnost s rostoucí Poissonovou konstantou χ , tj. s klesajícím počtem atomů v molekule pracovní látky tepelného oběhu.“[4]

Pro vznětové motory platí že:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\chi-1}} \frac{\varphi^{\chi-1}}{\chi(\varphi-1)} [-],$$

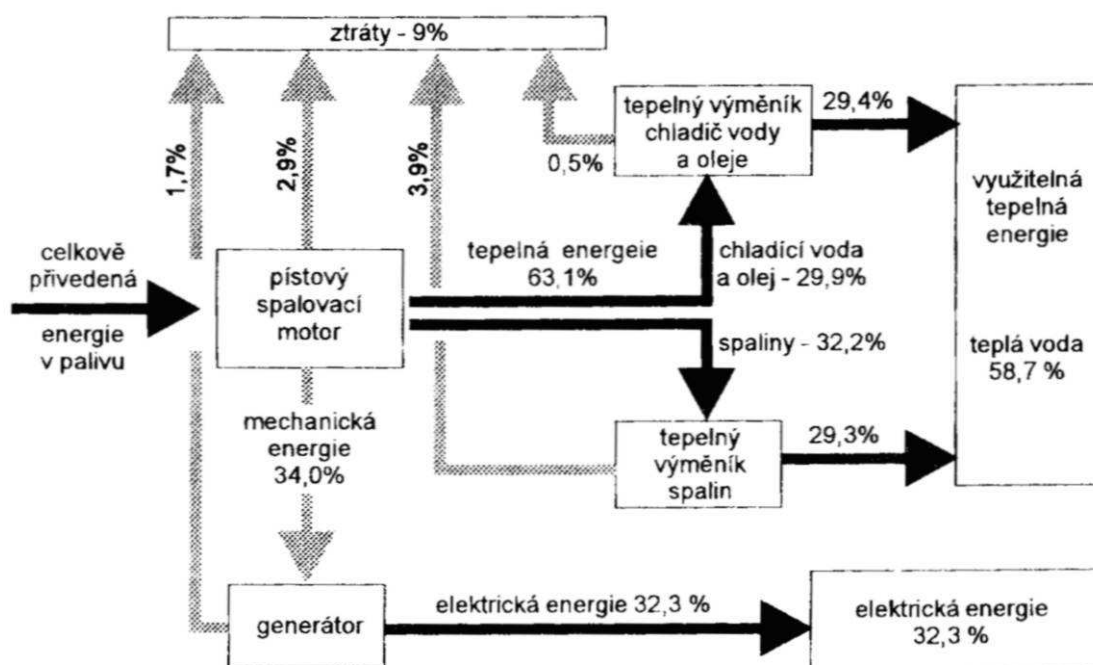
kde:

$$\varphi = v_2 / v_1 = T_2 / T_1$$

-plnění motoru

Rce. 4 – [4]

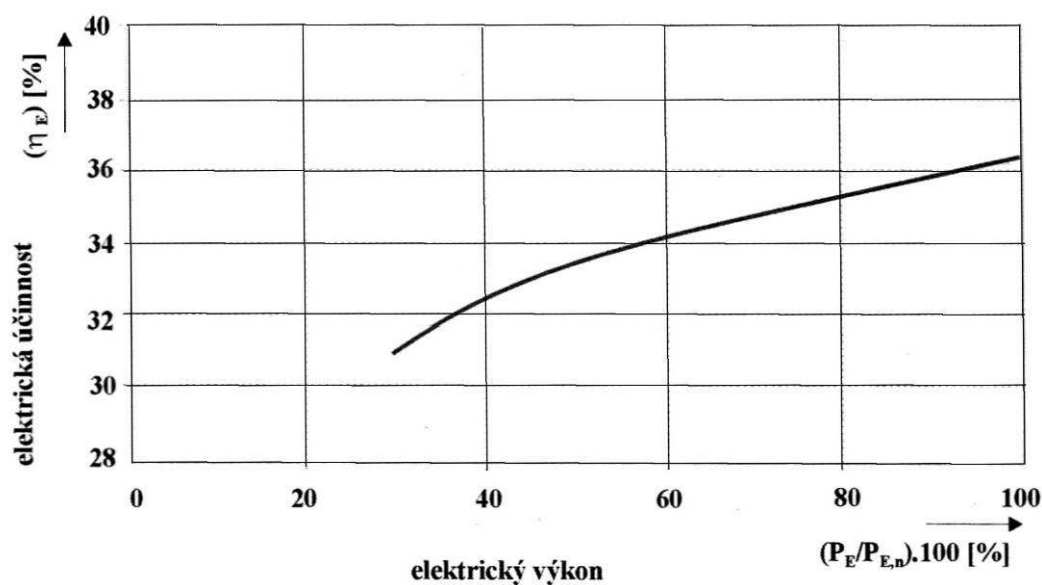
Lepší účinnosti lze dosáhnout úpravou spalovacího vzduchu (stavových hodnot vzduchu). Úpravou je myšleno stlačení vzduchu před vstupem do spalovací komory. S větší hustotou vzduchu lze dosáhnout vyšší hustoty energie ve spalovacím prostoru pístu. Celková účinnost pak závisí na schopnosti provozovatele využít i teplo s nižšími teplotami.



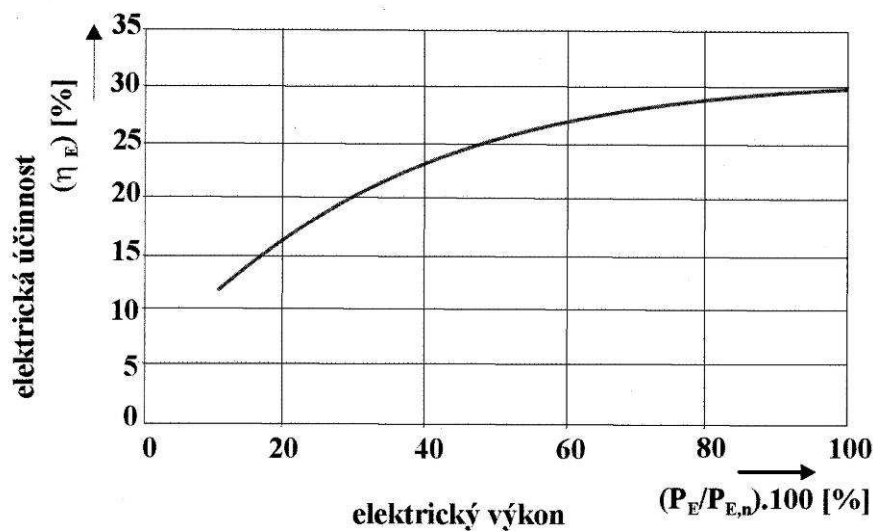
Obr. 4 – Schéma a energetická bilance menší KJ se spalovacím motorem [2]

Provozní charakteristiky spalovacích motorů

Výkon spalovacích motorů lze regulovat změnou množství přiváděného paliva, tedy snížením spalovací teploty. Při částečném zatížení motoru klesá elektrická účinnost dle výkonového diagramu. Pokles účinnosti zážehových motorů při polovičním výkonu je asi 8-10 %, vznětových, jak můžeme vidět v následujících diagramech (obr.12,13), je to ještě méně. Proto se snažíme KJ provozovat na jmenovitém výkonu.



Obr. 5 – Vliv změny zatížení na elektrickou účinnost vznětového motoru [4]



Obr. 6 – Vliv změny zatížení na elektrickou účinnost zážehového motoru [4]

2.5.2. Návrh technologického řešení Varianty A

Pro variantu soustavy kogeneračních jednotek použijeme sériově vyráběné motory o co největším výkonu. Česká firma Tedom, zabývající se výrobou kogeneračních jednotek má ve svém výrobním portfoliu pouze jednotky do výkonu 2 MW. To by pro náš výkon 40 MW odpovídalo použití 20ti jednotek. V praxi by to znamenalo mnohem vyšší investiční náklady za propojování soustavy a zbytečný zdroj možných komplikací. V neposlední řadě také vysoké nároky na prostor, vyšší náklady na údržbu apod.

Dalším nejdostupnějším dodavatelem je německá firma MWM, která se před rokem stala součástí amerického koncernu Caterpillar Inc. Z jejího portfolia byla vybrána nově optimalizovaná šestnácti válcová jednotka o výkonu 4,3MW typu TCG 2032. Jedná se o největší vyráběnou jednotku firmy. Optimalizací byl zvýšen nejen výkon a elektrickou účinnost, ale i počet provozních hodin před generální opravou z 64 tis. hodin na 80 tis. hodin.

Bilanční schéma

Při stanovování bilančního zapojení, budeme vycházet z účinností jedné jednotky. Počet jednotek musíme navrhnout tak, aby soustava pokryla požadovaný teplotenský výkon i ve špičkových odběrech.

Jednotka MWM TCG 2032 V16

Typ motoru	TCG 2032 V16 (50 Hz)	
Elektrický výkon	4300	kW
Tepelný výkon $\pm 8\%$	4160	kW
Elektrická účinnost	44,2	%
Tepelná účinnost	42,7	%

Tab. 2 – Technické údaje o výkonnosti KJ TCG 2032 [8]

Pro vykrytí špiček o tepelném výkonu 40 MW tedy musíme použít soustavu deseti kogeneračních jednotek.

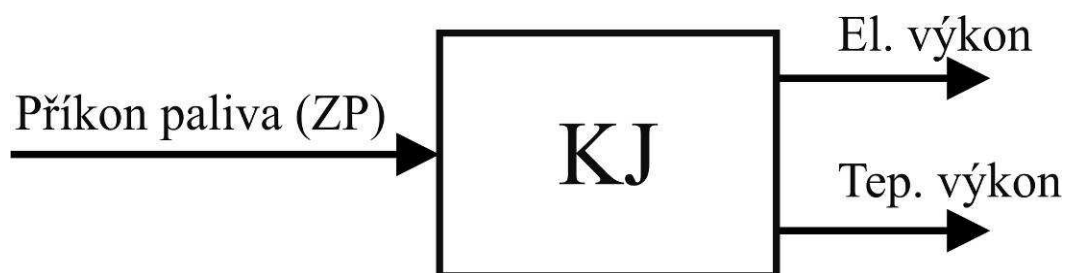
Příkon paliva

Příkon zemního plynu spočteme z jedné z účinností dané dodavatelem jednotek.

$$P_{zp} = \frac{P_T}{\eta_T}$$

$$P_{zp} = \frac{41600}{0,427}$$

$$P_{zp} = 97424 \text{ kW}$$



Obr. 7 – Bilanční schéma soustavy kogeneračních jednotek

Celkové výkony Zdroje jsou vždy desetinásobek výkonu jedné jednotky. Účinnosti při jmenovitém výkonu zůstávají stejné. Celkově je to tedy:

Elektrický výkon soustavy	43 000	kW
Tepelný výkon $\pm 8\%$	41 600	kW
Elektrická účinnost	44,2	%
Tepelná účinnost	42,7	%
Celková účinnost	86,9	%
Příkon v palivu	97 424	kW

Tab. 3 –Technické údaje o výkonnosti Soustavy KJ

Regulace výkonu

Proměnlivost výkonu soustavy kogeneračních jednotek téměř bez poklesu účinnosti je bezesporu velkou výhodou této varianty. Protože se Zdroj skládá s jednotlivých jednotek o výkonu 4,3 MW vhodnou regulací, při dostatečné tepelné setrvačnosti soustavy Výrobce - odběratel tepla lze dosahovat téměř jmenovitých účinností odstavením jednotlivých KJ. Zvláště když víme, že snížením výkonu jednotky sice klesne elektrická účinnost, ale téměř úměrně tomu vzroste účinnost tepelná, tedy i v tepelný výkon bude vyšší. Celkově regulace takovéhohlehle zdroje napojeného na počítač ovládanou regulaci s kvalitním systémem zpětné vazby je velice efektivní. Stabilitu systému regulace odběrů tepla může ještě zefektivnit dostavba horkovodního akumulátoru tepla, který zaručí vysokou efektivitu provozu celého teplárenského Zdroje.

Výhody

- Soustava dobře zapojených KJ plně splňuje zadání. Plně pokryje potřebný teplotní výkon.
- Jednotky mají při jmenovitém výkonu teplotní modul mírně větší, než 1. Celková účinnost je 86,9%.
- Největší výhodou soustavy je velice efektivní regulace výkonu. Při částečném zatížení soustavy mohou být v provozu jen některé jednotky, ostatní tak nejsou zbytečně opotřebovávány. Tím se prodlouží celková životnost Zdroje a hlavně i při částečném zatížení se vhodnou regulací lze dosahovat účinností, jako při jmenovitém výkonu.
- Nespornou výhodou je velmi rychlá instalace technologií, takže výstavba Zdroje je mnohem rychlejší v porovnání třeba s uhelnými, nebo jadernými elektrárnami.
- Vysoká účinnost a použité palivo zaručují nízkou zátěž na životní prostředí.

Nevýhody

- Takto řešená soustava obsahuje 10 samostatných strojů, které vyžadují neustálou údržbu a kontrolu. To sebou nese odpovídající provozní náklady.
- Pístové kogenerační jednotky jsou složité stroje, které obsahují velké množství pohyblivých součástí, to zvyšuje rizika poruch, nebo havárií.

2.5.3. Ekonomická analýza Varianty A

K efektivnímu výběru koncepční varianty projektu nestačí pouze technické vlastnosti použité technologie, ale zásadním parametrem je finanční stránka projektu. Proto byl vytvořen koncepční ekonomický model investice.

Z firemních zdrojů byly zjištěny náklady, se kterými se dále počítá. Model je řešen v programu Efekt 3.0, který byl vytvořen speciálně k vyhodnocování investičních příležitostí v energetice a dalších technologických provozech.

Uvažované parametry jsou:

Investiční náklady:

Cena KJ jednotky s příslušenstvím	445 mil Kč
Stavba budovy	189 mil Kč
Kabeláž, Technologické rozvody, elektroinstalace atd.	366 mil Kč

Provozní náklady

Olejové náplně, mazadla apod. + servis	3550 tis. Kč/rok
Personální náklady *Počítám 12 lidí (4x 3směny)	4320 tis. Kč/rok
Pojištění	600 tis. Kč/rok
Daň	20%
Palivo	600 Kč/MWh

Výnosy:

Výkupní cena el. energie	1225 Kč/MWh
Výkupní cena vyrobeného tepla	445 Kč/GJ

Inflace	2 %
Doba hodnocení investice (životnost)	30 let

Celková cena vyráběné elektřiny se skládá z parametrů uvedených v následující tabulce.

Cena za vyrobenou el.	1225	Kč/MWh
Za decentralizovanou výrobu	20	Kč/MWh
Příspěvky KVET	45	Kč/MWh
	1290	Kč/MWh

Tab. 4 – Složky ceny elektrické energie

Vzhledem k velikosti investičních nákladů a bonity projektu je uvažováno rozložení investičních nákladů na dvě části. Z vlastních zdrojů je hrazeno 50% celkové investice a 50% je hrazeno z blíže nespecifikovaného úvěru, kde úrok činní 5% a je na 10 let.

Model obsahuje uvažované toky hotovosti v každém roce a zohledňuje možnost rovnoměrných a zrychlených odpisů nákladů dle odpisových skupin a platné legislativy. Například Kogenerační jednotka se spalovacím motorem je 3.odpisová skupina dle Zákona č. 586/1992 Sb. o daních z příjmů se odepisuje 10 let. A to tak, že první rok se odepisuje 5,5 % a každý další 10,5 % z celkové ceny.

Ze zadání jsou uvažovány následující odběry tepla. Z těch je dopočítán elektrický výkon Zdroje. Pro jednoduchost a přehlednost byla uvažovaná jmenovitá účinnost Zdroje. Ta se ale v případě varianty A bude hodně blížit realitě i v případě sníženého výkonu, jak už bylo řečeno v předchozí kapitole.

Energetická bilance					
	Potřeba		Kogenerační jednotky		
Měsíc	Teplo (GJ)	tep. výkon MWh	El.výkon/ [MWh]	počet hodin (jm.výkon)	Spotřeba plynu [MWh]
Leden	79987	22219	22966	534	52034
Únor	67185	18662	19290	449	43706
Březen	42763	11879	12278	286	27819
Duben	9640	2678	2768	64	6271
Květen	3626	1007	1041	24	2359
Červen	3770	1047	1082	25	2452
Červenec	3440	955	988	23	2238
Srpen	3196	888	918	21	2079
Září	3583	995	1029	24	2331
Říjen	23591	6553	6774	158	15347
Listopad	45645	12679	13106	305	29694
Prosinec	57759	16044	16584	386	37574
Celkem	344183,4	95606,5	98824,0264	2298,233173	223903,07

Tab. 5 – Měsíční a roční výroba energií

Za rok tedy náš Zdroj spotřebuje, vyrobí a je schopen prodat objem energií, který je popsán v následující tabulce. Je zde uvažována i vlastní El. spotřeba zdroje závisující na počtu provozních hodin Zdroje za rok.

Okamžitá vlastní spotřeba	0,87	MW
Vlastní spotřeba / rok	1999,5	MWh/Rok
Elektrický Výkon / rok	98824,0264	MWh/Rok
Tepelný Výkon / rok	95606,5	MWh/Rok
Spotřeba plynu při Jm.výkonu	223903,07	MWh/Rok

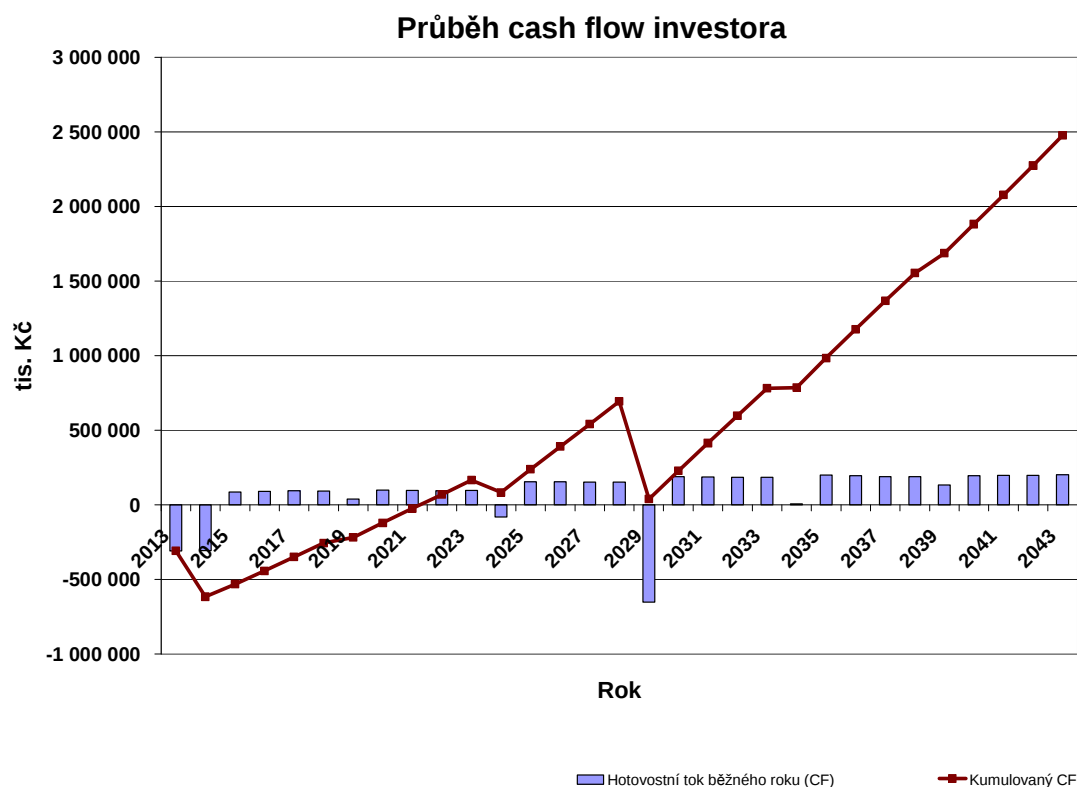
Tab. 6 – Roční objem spotřebovaných a vyrobených energií

Předpokládá se, že s výstavbou Zdroje začneme Únoru 2013 a v provozu by měl být v Říjnu 2014 Uvažujeme také životnost KJ danou výrobcem, při pravidelném servisování 80 000 provozních hodin, což je obecně docela vysoké číslo, ale společnost MWM se pyšní provedenou optimalizací jednotek, kdy se zaměřila na zvýšení účinností a počtu provozních

hodin právě na uvedené hodnoty. Při počtu uvažovaných provozních hodin životnost Zdroje před generální opravou odpovídá 30 ti rokům.

Vyhodnocení ekonomického modelu probíhá pomocí obecně používaných ziskových kritérií. Každé kritérium zohledňuje jiné aspekty výnosnosti modelu. Celkově tak dávají velice podrobný pohled na rentabilitu investice. Zohledňovaná je časová hodnota peněz při diskontní sazbě 6%. Diskontní sazba je rovna výnosnosti jiného investičního nástroje, se kterým investici srovnáváme. Může to být například termínovaný vklad u banky nebo jiná činnost, do které by investor mohl investovat svoje finance při podobném riziku.

V následujícím grafu můžeme vidět průběh zhodnocování investovaných zdrojů do projektu v čase. V Grafu 1 je názorně vidět hotovostní tok v každém roce, tzv. Cash flow. Součet těchto ročních hotovostních toků nazýváme Kumulované Cash flow a je v grafu znázorněno tmavě rudou barvou.

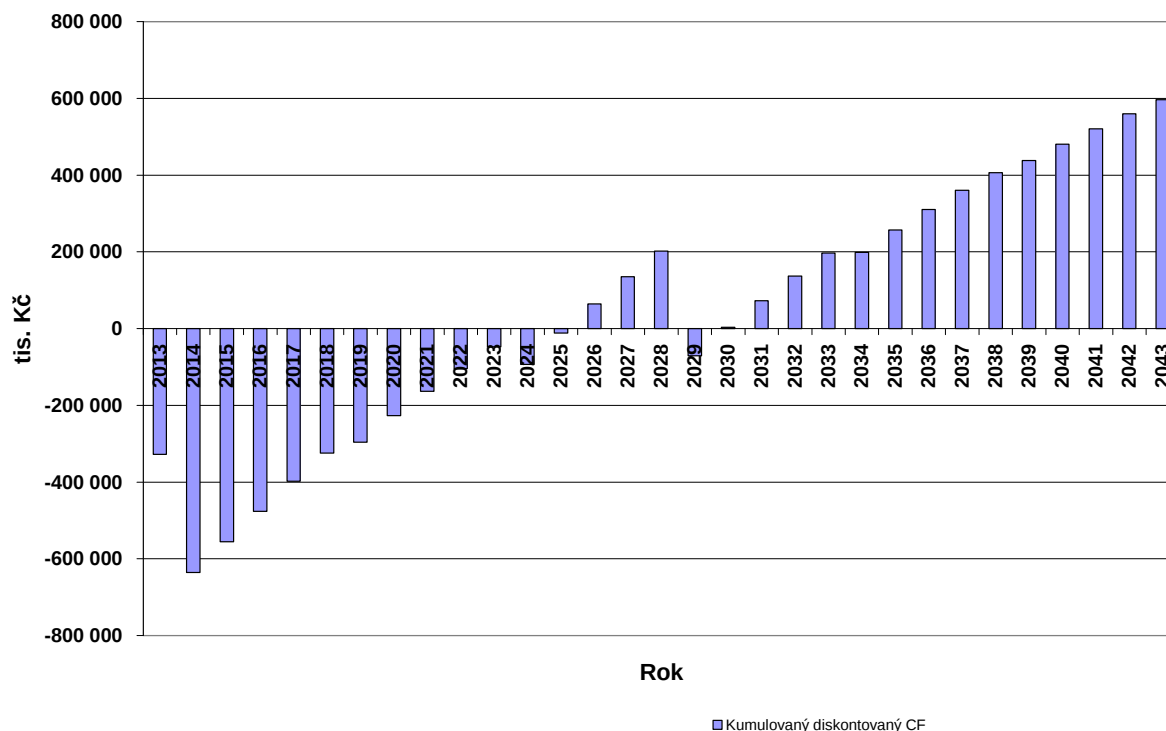


Graf. 1 – Průběh cash flow investora

Z Grafu 2 můžeme znovu odečíst Cash flow. Tentokrát se jedná o tzv. Kumulovaný diskontovaný cash flow, což je z dlouhodobého hlediska u nákladnějších projektů, jako je ten náš mnohem více říkající kritérium, protože zohledňuje časovou hodnotu peněz a převádí je na současnou hodnotu. Z tohoto hlediska pocítíme výhodu počátečního úvěru. Půjčené peníze

pro investora neztrácí hodnotu v čase, protože nejsou jeho. Úroky z úvěru se snižuje příjem investora rovnoměrně a tedy i daň z příjmů.

Kumulovaný diskontovaný cash flow



Graf. 2 – Kumulovaný diskontovaný cash flow investora

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty ostatních počítaných ziskových kritérií. U menších projektů bývá nejrychleji a nejsnáze pochopitelným kritériem prostá Doba splacení investice, tedy za jakou dobu se vrátí investované prostředky na začátku investice. Pro nás ovšem není tak zásadní, jako ostatní kritéria. Vhodnějším je Diskontovaná doba splacení (návratnosti), která zase počítá s časovou hodnotou peněz a převádí je do současnosti.

Hodnotící kritéria		
Čistá současná hodnota	596 787,72	tis. Kč
Vnitřní výnosové procento	12,28	%
Doba splacení (prostá)	9	let
Doba splacení (diskontovaná)	13 17	let
Doba životnosti (hodnocení)	30	let

Tab. 7 – Hodnotící kritéria investice

Vysoce říkající kritérium je čistá současná hodnota. Která je závislá na velikosti diskontní sazby. Porovnává tedy výnosnost investice s jinou investiční možností o stejné diskontní sazbě. To že Čistá současná hodnota vyšla kladná znamená, že projekt je lukrativnější, než

jiný se stejnou diskontní sazbou (např. termínovaný vklad u banky s výnosností 6%.) Tohle kritérium ovšem neporovná velikosti investic. Proto mnohem používanější kritérium je IRR, neboli Vnitřní výnosové procento.

Vnitřní výnosové procento je zdaleka nejpoužívanějším kritériem, které používají firmy při rozhodování o investičních projektech. Odpovídá vlastně diskontní sazbě, při níž by projekt měl nulovou současnou hodnotu.

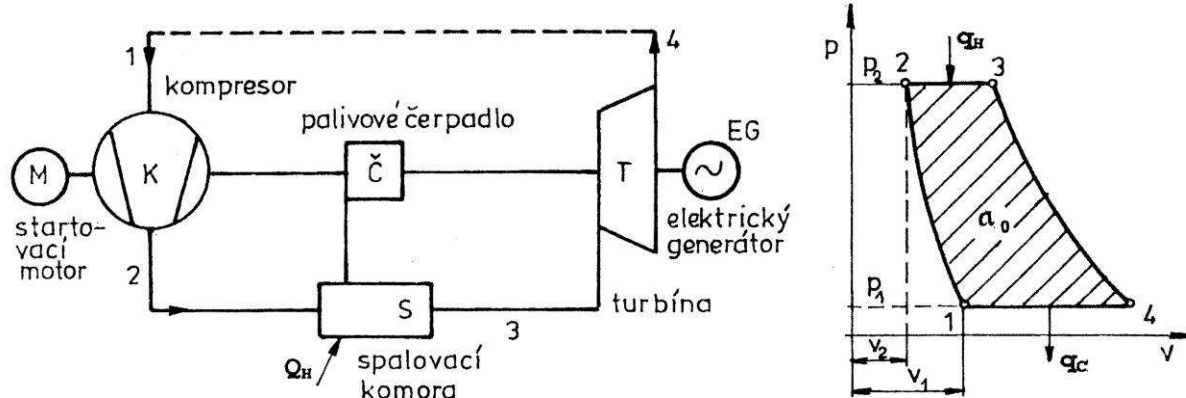
2.6. Varianta B, Paroplynová teplárna

2.6.1. Obecný popis technologie Paroplynového cyklu

Paroplynový cyklus je stále častěji se využívajícím kombinovaným zdrojem elektřiny a tepla. Je to moderní a ve světě velmi užívaným a osvědčeným způsob, jak efektně využívat palivo. Hlavní částí paroplynových zařízení je plynová turbína. Principem paroplynového cyklu je efektivní využití jejich spalín. Spaliny plynové turbíny mají vysoké parametry a ve spalínovém kotli dokáží vygenerovat páru vhodnou pro práci parní turbíny. Teprve po zpracování entalpického spádu v parní turbíně se zbylé teplo využívá na vytápění a pro další technologické procesy. Paroplynový cyklus tak dosahuje ve srovnání s uhelnými bloky vyšší tepelné a hlavně elektrické účinnosti.

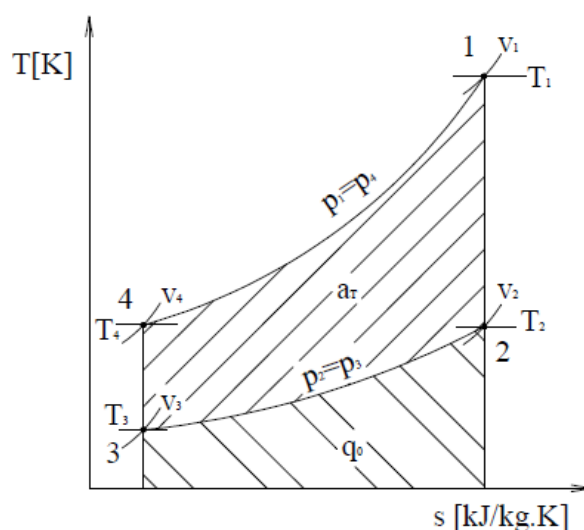
Plynová turbína

Plynové, nebo též spalovací, turbíny jsou nejnákladnějším prvkem paroplynových tepláren. Tento typ turbín pracuje na základě Braytonova cyklu (Obr.8). Nejprve se nasávaný vzduch kompresorem stlačí a ve spalovací komoře turbíny (někdy bývá spalovací komora i mimo vlastní turbínu) se mísí s palivem. V komoře dojde ke spálení paliva a horké spaliny pohánějí plynovou turbínu. Nejčastějším provedením plynové turbíny je jednohřídelové uspořádání, kdy kompresor, spalovací komora s turbínou jsou na jednom hřídeli spojeny přes spojku s generátorem.



Obr. 8 – Idealizovaný Braytonův cyklus [5]

Vysokopotenciální teplo ze spalín je předáno ve spalínovém výměníku (spalínovém kotli). Vzhledem k teplotám spalín (450 - 500°C) se dá teplo velmi dobře využít, jak v kombinovaných obězích s parní turbínou nebo přímo pro další technologické procesy a technologie. Vzhledem k vysokým teplotám a tlakům jsou i vyšší nároky na použité materiály, což zvyšuje celkovou cenu tohoto typu Zdroje. Výkony takovýchto kogeneračních systémů se pohybují od 0,5MW_E až po 250 MW_E. Jejich teplotenský modul se blíží jedné a celkově mají vysokou celkovou účinnost. Tepelná účinnost se odvíjí od poměrů tlaků v turbíně, což je vidět z T-s diagramu Braytonova tepelného oběhu, dále na tlaku a teplotě stlačovaného, tedy venkovního vzduchu, účinnosti kompresoru a také na chlazení lopatek turbíny. Elektrická účinnost je u malých okolo 25-35% a u velkých Zdrojů až 40-42%. Celková účinnost se pak pohybuje v rozmezí 60-80%.

Obr. 9 – T - s diagram Braytonův tepelný oběh se spalovací turbínou [6]

Palivo

Vzhledem k tomu, že u plynových turbín jdou spaliny přímo na lopatky stroje, vyžadují tyto turbíny jen ušlechtilá paliva. Používají se plynná a méně často kapalná paliva. Z kapalných jsou to Lehké topné oleje o vhodné viskozitě, aby byly schopny se ve spalovací komoře dobře rozprášit. Většinou jsou použita plynná paliva. Nejčastěji je to zemní plyn. Uvažovat lze o jiných plynných palivech, např. plyny po zplynování uhlí, biomasy nebo z různých technologických procesů, tyto případy jsou však méně časté, spíše výjimečné.

Jako perspektivní do budoucna se jeví paroplynové zdroje s integrovaným zplynováním uhlí (IGCC – Integrated gasification combustion cycle), které patří k tzv. technologiím čistého uhlí (Clean Coal Technologies).

Výhodou je kompaktnost jednotky. Díky tomu se v praxi využívá i tzv. Kontejnerové provedení. Naopak nevýhodou je velká hlučnost systému, která se musí snižovat vhodnými tlumiči hluku na přiměřenou hodnotu.

Parní turbína

Parní turbíny se pro kogenerační systémy využívají už dlouho. Jedná se o u nás dobře zvládnutou technologii a léty prověřený vysoce spolehlivý kogenerační zdroj energií. Z termomechanického hlediska pracují parní turbíny v oběhu, kterému se říká Rankin-Clausius cyklu (Obr. 10).

Rozlišujeme tři základní typy parních turbín.:

- Kondenzační turbíny
- Protitlaké turbíny
- Turbíny s odběrem páry

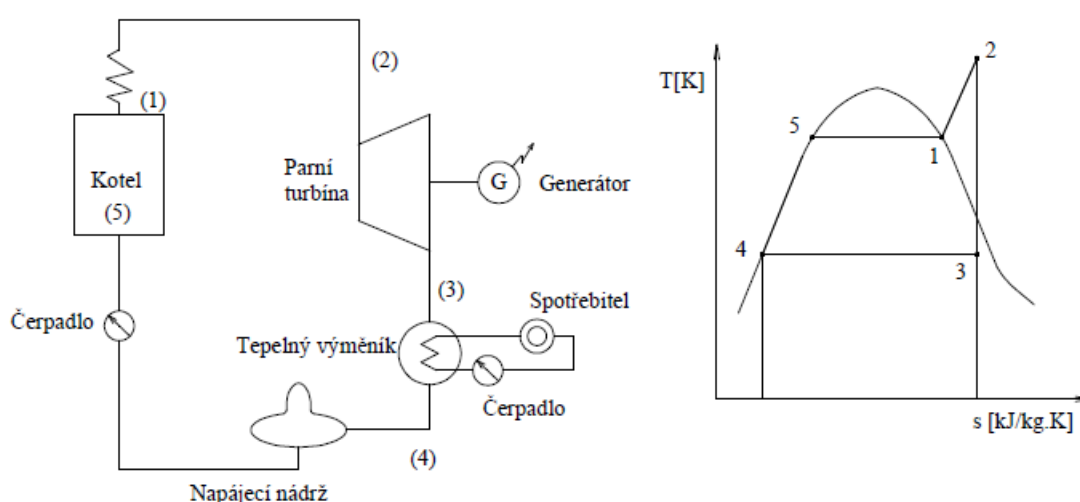
Kondenzační turbíny se používají hlavně pro výrobu elektrické energie. Charakteristické pro ně je to, že za výstupním hrdlem mají kondenzátor. Využívají entalpický spád na turbíně co nejvíc, aby dosáhly co nejlepšího elektrického účinnosti. Než pára na konci turbíny zkondenzuje může mít teplotu jen 15°C. Tomu se odpovídá tlak 0,002MPa, proto se někdy říká, že pára expanduje do vakua. Jestliže turbínu chceme využívat pro teplotní účely necháváme páru

kondenzovat při teplotách asi (80 až 90°C) vhodných k dalšímu technologickému využití, jako vytápění, sušení apod. Takovému režimu říkáme, že turbína pracuje s potlačenou kondenzací.

Protitlaké turbíny jsou konstruovány tak, že na výstupu není klasický kondenzátor, ale parovod, nebo kondenzátor s vyšším než atmosférickým tlakem. Pára, nebo horká voda se používá pro další potřeby provozovatele.

Turbíny s odběry páry mohou být konstruovány jako protitlaké, nebo kondenzační s tím rozdílem, že někde mezi prvním a posledním stupněm lopatkování mají jeden, nebo více technologických odběrů. Odběry mohou být regulované, nebo neregulované. Regulované odběry se používají hlavně k teplárenským, nebo jiným technologickým účelům. Regulují se ventilem, který je umístěn vně, nebo součástí turbíny. Neregulované odběry se nejčastěji používají k regeneraci tepla u elektrárenských turbín. Odběrem se přehřívá napájecí voda před vstupem do kotle a tím se zvyšuje elektrická účinnost celého oběhu.

Všechny tyto typy se vzájemně kombinují a zvláště turbíny používané pro zásobování teplem jsou konstruovány tak aby vedly co nejefektivnějšímu využití paliva a zabezpečení dodávek tepla. Protože dodávky tepla mají přednost před výrobou elektřiny bývají teplárenské turbíny zabezpečeny bypassem s redukční stanicí, aby případná havárie turbosoustrojí nezpůsobila výpadek dodávky tepla.



Obr. 10 – Diagram zapojení parního cyklu s kogenerací a schéma jejího RC cyklu [6]

Výkony parních turbín se v ČR pohybují v širokém rozmezí. U teplárenských turbín je většinou elektrický výkon do 100MW. U elektrárenských turbín jsou to výkony od desítek megavat až po turbíny firmy Škoda Power použité v JE Temelín o výkonu 981MW.

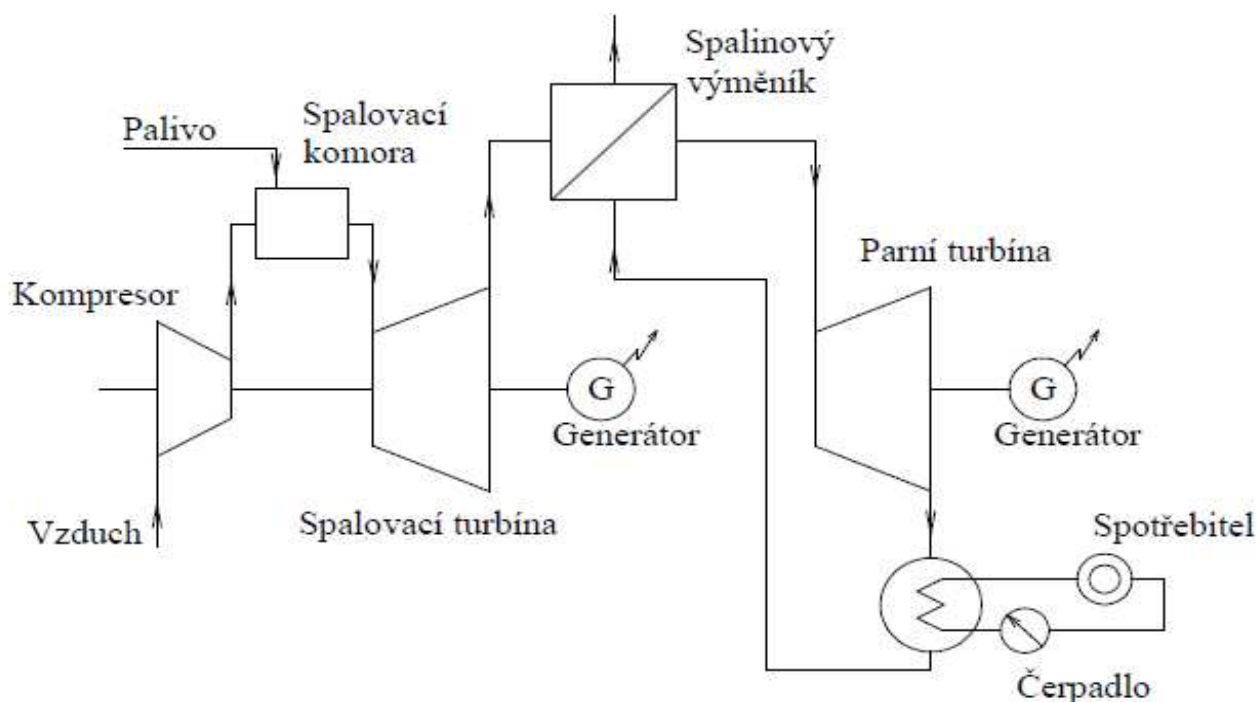
Kombinovaný paroplynový cyklus

Výrazným rysem všech paroplynových cyklů je závislost jejich výkonu na okrajových podmínkách, tedy na teplotě vzduchu, nadmořské výšce a relativní vlhkosti. Nejvýrazněji se projevuje vliv teploty, kdy se vzrůstající teplotou okolí výrazně klesá výkon plynových turbín a mění se parametry vystupujících spalín, což ovlivňuje parní část pracovního oběhu. Je to dáno zejména změnou průtoku vzduchu nasávaného kompresorem kvůli měnící se měrné hmotnosti vzduchu.

2.6.2. Návrh technologického řešení Varianty B

Pro Paroplynovou teplárnu o výkonu asi 40MW byly dopočítány orientační bilance pro koncepční návrh. Vstupem je zemní plyn. Výstupy jsou elektrická energie a teplo v požadované kvalitě. Zdroj musí být schopen pokrýt špičkové odběry tepla o výkonu 40MWt. Teploty horké vody jsou 110/70°C. Při návrhu jednotlivých komponent a tvorbě bilančního schématu budeme postupovat od zadu od tepelných odběrů.

Schéma zapojení



Obr. 11 – Schéma zapojení Paroplynové teplárny [6]

Tepelný výměník

Výměníková stanice musí mít tepelný výkon použitý k teplárenským účelům 40MW. Tepelná ztráta v horkovodní potrubí mezi naším Tepelným výměníkem a výměníkovou stanicí CZT bude na vzdálenosti 1,5 km zanedbatelně malá. Proto ji v koncepčním návrhu nebudeme uvažovat.

Výměník bude konstruován jako výměník Pára - Voda s kondenzací páry v parní větvi.

Teploty médií ve výměníku:

1 - Pára	$T_1 = 130\text{ °C}$	Entalpie $i_1 = 2720,088\text{ kJ/kg}$
2 - Voda	$T_2 = 80\text{ °C}$	Entalpie $i_2 = 334,9487\text{ kJ/kg}$
3 - Voda	$T_3 = 110\text{ °C}$	Entalpie $i_3 = 461,3634\text{ kJ/kg}$
4 - Voda	$T_4 = 70\text{ °C}$	Entalpie $i_4 = 293,0179\text{ kJ/kg}$

Tab. 8 – Parametry teplosměnných médií

Odběr tepla do horkovodní sítě je 40MW.
Hmotnostní průtoky medií získáme ze vztahu:

$$Q = m_1 \cdot (i_1 - i_2) = m_3 \cdot (i_3 - i_4)$$

$$m_1 = \frac{Q}{(i_1 - i_2)} = \frac{40000}{(2720,1 - 335)} = 16,8 \text{ kg/s}$$

$$m_3 = \frac{Q}{(i_3 - i_4)} = \frac{40000}{(461,4 - 293)} = 237,6 \text{ kg/s}$$

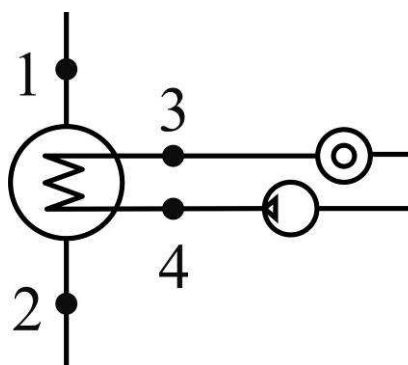
Kde je:

Qpředaný tepelný výkon

m_1 ...hmotnostní průtok páry v bodě 1

m_3 ...hmotnostní průtok vody v bodě 3

i_nentalpie média v bodě n



Obr. 12 –Schéma zapojení tepelného výměníku

Parní turbína

Byla vybrána parní turbína typu SST-150 od firmy Siemens. Tato turbína je použitelná v rozsahu 5-20 MW elektrického výkonu. Turbína pracuje s vodní párou o teplotě $T_{pp}=505\text{ °C}$ a tlaku $p_{pp}=10,3\text{ MPa}$

Ze spalínového kotle a přehříváku páry je na turbínu přivedeno teplo v podobě páry o daných parametrech.

Přehřátá pára na vstupu:

Tlak 10,3 MPa

Teplota 505 °C

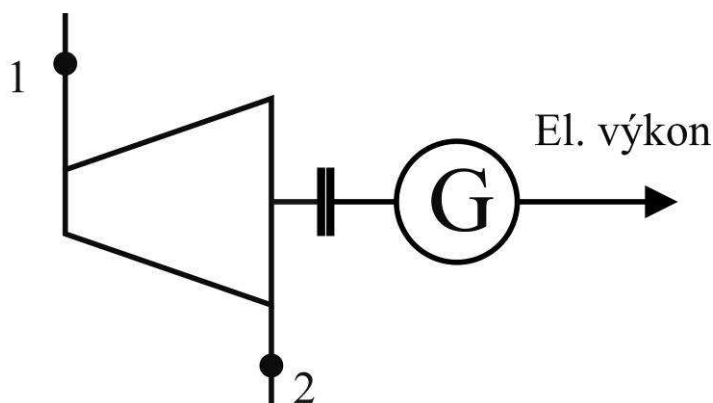
Entalpie 3384,3 kJ/kg

Průtok 16,8 kg/s

Pára na výstupu:

Teplota 130 °C

Entalpie 2720,1 kJ/kg



Obr. 13 –Schéma parní turbíny

Izoentalpický výkon turbíny je:

$$P_{iz} = m_p \cdot (i_1 - i_2)$$

$$P_{iz} = 16,8 \cdot (3384,3 - 2720,1)$$

$$P_{iz} = 11139,5 \text{ kW}$$

Uvažujeme:

Účinnost generátoru 97%

Mech.účinnost turbíny 98%

Elektrický výkon pak bude:

$$P_{PT} = P_{iz} \cdot \eta_{mech} \cdot \eta_G$$

$$P_{PT} = 11139,5 \cdot 0,98 \cdot 0,97$$

$$P_{PT} = 10589,2 \text{ kW}_E$$

Tepelný příkon, který je potřebný k ohřátí páry na potřebné parametry je závislý na teplotě napájecí vody a na parametrech přehřáté páry

Napájecí voda:

Teplota 80 °C

Entalpie 334,95 kJ/kg

$$Q_T = m_p \cdot (i_1 - i_{NV})$$

$$Q_T = 16,8 \cdot (3384,3 - 334,95)$$

$$Q_T = 51139 \text{ kW}$$

Spalovací turbína

Hlavním prvkem teplárny je spalovací turbína. Byla vybrána turbína SGT-700 o jmenovitém elektrickém výkonu 31,21MW od firmy Siemens. Turbína spaluje zemní plyn. Produkuje horké spaliny o teplotě 528°C a její elektrický výkon je 31,21MW.

Parametry:

Elektrický výkon:	31,21MW (e)
Palivo:	zemní plyn
Frekvence:	50/60Hz
Elektrická účinnost:	36,4%
Mechanický výkon:	32,04MW
Mechanická Účinnost:	37,4%
Rychlost turbíny :	6500 otáček za minutu
Kompresní poměr kompresoru:	18,6:1
Průtok výfukového plynu:	94 kg/s
Teplota výfukových plynů:	528 ° C (983 ° F)

Příkon v plynu při jmenovitém výkonu spočteme z mechanické účinnosti turbíny.

$$P_{ZP} = \frac{P_{mech}}{\eta_{mech}}$$

$$P_{ZP} = \frac{32040}{0,374}$$

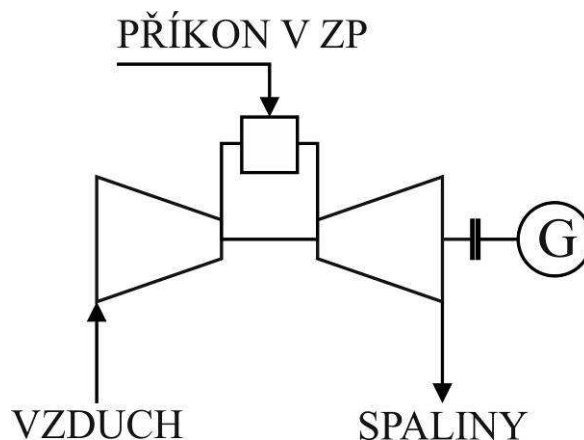
$$P_{ZP} = 85668,4kW$$

Tepelný výkon turbíny v odcházejících spalínách je potom:

$$P_T = P_{ZP} - P_{mech}$$

$$P_T = 85668,4 - 32040$$

$$P_T = 53628,4kW$$

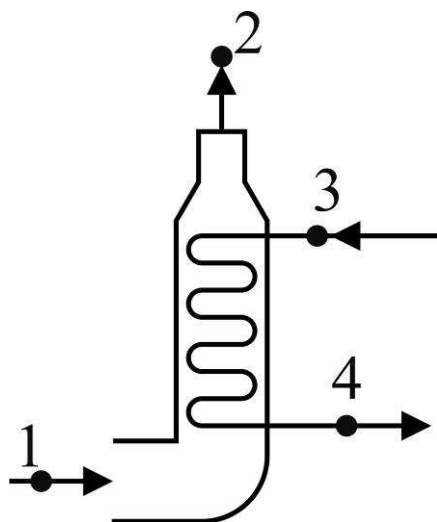


Obr. 14 –Bilanční schéma plynové turbíny

Spalinový kotel

Ve spalinovém kotli dochází k využití tepla ze spalín plynové turbíny. Kotel generuje páru o požadovaných parametrech. Účinnost běžných spalinových kotlů se pohybuje kolem 88%.

Náš kotel tedy dokáže předat 88% tepla ze spalín plynové turbíny páře. Zbytek tepla už není možno využít a tak odchází do atmosféry se spalínami bez užitku.



Obr. 15 –Bilanční schéma Spalinového kotle

Tepelný výkon předaný ve spalinovém kotli páře je tedy:

$$Q_p = P_T \cdot \eta_{SK}$$

$$Q_p = 53628 \cdot 0,88$$

$$Q_p = 47193kW$$

Pro jmenovité parametry páry jdoucí na parní turbínu je ovšem potřeba vyšší tepelný výkon. Potřebného parního výkonu dosáhneme dohřátím ve plynovém přehříváku páry. Zde bude sloužit jako palivo zemní plyn.

Plynový přehřívák páry

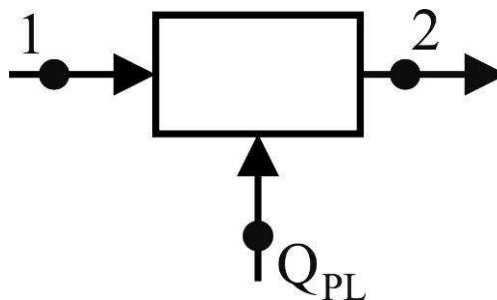
Přehřívák je umístěn na parním potrubí mezi spalínovým kotlem a parní turbínou. Jeho účinnost je 92%

Při jmenovitém výkonu Zdroje je potřeba přitopit v přehříváku plynem o příkonu:

$$P_{PL} = \frac{(Q_2 - Q_1)}{\eta_{PL}}$$

$$P_{PL} = \frac{(51139 - 47193)}{0,92}$$

$$P_{PL} = 4290 \text{ kW}$$



Obr. 16 – Bilanční schéma plynového přehřívku páry

Celkový příkon v plynu je tedy součet příkonu plynové turbíny a plynového přehříváku.

$$P_{ZP} = P_{ZPT} + P_{PL}$$

$$P_{ZP} = 85668,4 + 4290$$

$$P_{ZP} = 89958 \text{ kW}$$

Celkový elektrický výkon soustavy je součet el. výkonu Plynové a Parní turbíny.

$$P_E = P_{ST} + P_{PT}$$

$$P_E = 31209 + 10589$$

$$P_E = 41798 \text{ kW}$$

Tepelná účinnost Paroplynové teplárny je:

$$\eta_T = \frac{Q_T}{P_{ZP}}$$

$$\eta_T = \frac{40000}{89958}$$

$$\eta_T = 0,445 = 44,5\%$$

Elektrická účinnost Paroplynové teplárny je:

$$\eta_E = \frac{P_E}{P_{ZP}}$$

$$\eta_E = \frac{41798}{89958}$$

$$\eta_E = 0,465 = 46,5\%$$

Celková účinnost Paroplynové teplárny při jmenovitém výkonu je:

$$\eta_{Cel} = \eta_E + \eta_T$$

$$\eta_{Cel} = 0,465 + 0,445$$

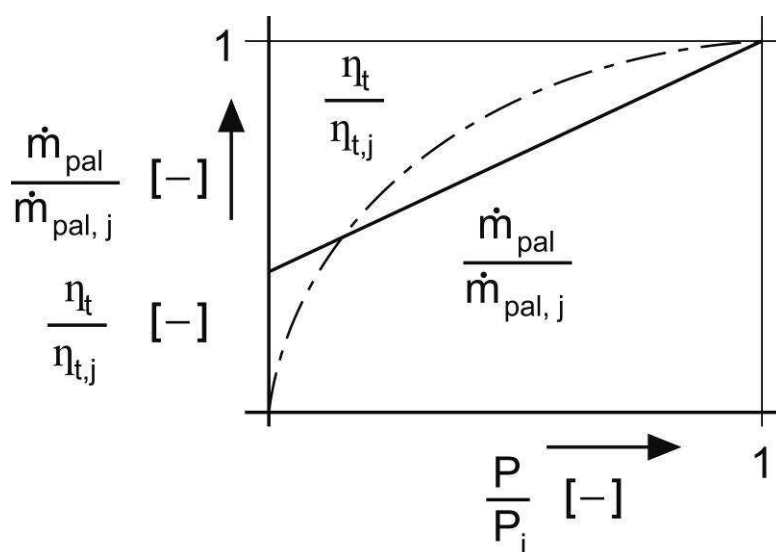
$$\eta_{Cel} = 0,91 = 91\%$$

Elektrický výkon Zdroje	41 798	kW
Tepelný výkon	40 000	kW
Elektrická účinnost	46,5	%
Tepelná účinnost	44,5	%
Celková účinnost	91	%
Příkon v palivu	89 958	kW

Tab. 9 –Technické údaje o výkonnosti Paroplynové teplárny

Regulace výkonu

Regulovat Paroplynovou teplárnu podle tepelných odběrů je dost komplikovaná záležitost. Jestliže odebíráme teplo za parní turbínou využijeme maximum výkonu na přeměnu v elektrickou energii. Hlavním regulovaným strojem je ale plynová turbína. Plynová turbína se reguluje množstvím přiváděného paliva. V našem případě, kdy je turbína přifázovaná ke generátoru zůstávají otáčky konstantní. Vlivem snížení množství paliva klesá teplota ve spalovací komoře a tím se sníží objemový průtok turbínovou částí. To znamená, že poklesne tlak za turbínovou částí. Při snižování výkonu z jmenovitého se tedy pracovní bod turbokompresoru pohybuje dále od pumpovní hranice. Obecně průběh regulovaného výkonu můžeme vidět na následujícím diagramu. Lze z něj zjistit, že jestliže přivedeme do turbíny např. jen o třetinu paliva méně, než je jmenovitá spotřeba, mechanický výkon turbíny klesne asi na polovinu. To je pro nás zásadní. Vyhřívání špičkových odběrů tepla se pro paroplynový cyklus jeví jako neefektivní.



Obr.17 – Poměrný průběh výkonu, množství paliva a účinnosti plynové turbíny

Protože ale teplárna nebude fungovat, jen na jmenovitém výkonu, budou účinnosti cyklu klesat. V excelu byl namodelován paroplynový oběh z bilančního hlediska tak, aby i při sníženém výkonu byly minimální ztráty. Toho se dosáhlo tak, že na parní turbínu jde vždy maximální tepelný výkon plynové turbíny. Spalovací kotel má tedy konstantní účinnost 88%. Vzhledem k našemu dispozičnímu řešení koncová regulace tepelných odběrů je plynový přehřívák páry. Snížením výkonu přehříváku lze neefektivněji regulovat část tepelného výkonu Zdroje. Pára sice bude mít konstantní teplotu i tlak, její průtok však bude klesat v závislosti na odběrech tepla za parní turbínou a tepelném výkonu plynové turbíny. Toho lze technicky dosáhnout kvalitně provedenou regulací kotle. Plynový přehřívák páry je ale navržen na jmenovitý výkon 4,29MW. V případě předimenzování s ním lze dosáhnout vyššího výkonu celého cyklu. Omezením je konstrukční provedení protitlaké parní turbíny, které sice má jistý provozní rozsah, ale s rostoucí odchylkou od jmenovitého výkonu klesá mechanická účinnost. Z ekonomického hlediska je to ovšem méně podstatné, protože i tak energii zemního plynu současně využijeme na výrobu tepla a elektřiny i když při nižší účinnosti. Při sníženém výkonu bude Plynový přehřívák odstaven jako první. To má za následek mírné zvýšení elektrické účinnosti, z celkového pohledu je tato změna ale zanedbatelná.

Při dalším snížení tepelných odběrů je nutné snížit výkon Plynové turbíny. To však má svá úskalí v podobě snížení elektrické účinnosti turbíny. Přibližnou představu o této regulaci popisuje zmiňovaný bilanční model Paroplynového cyklu.

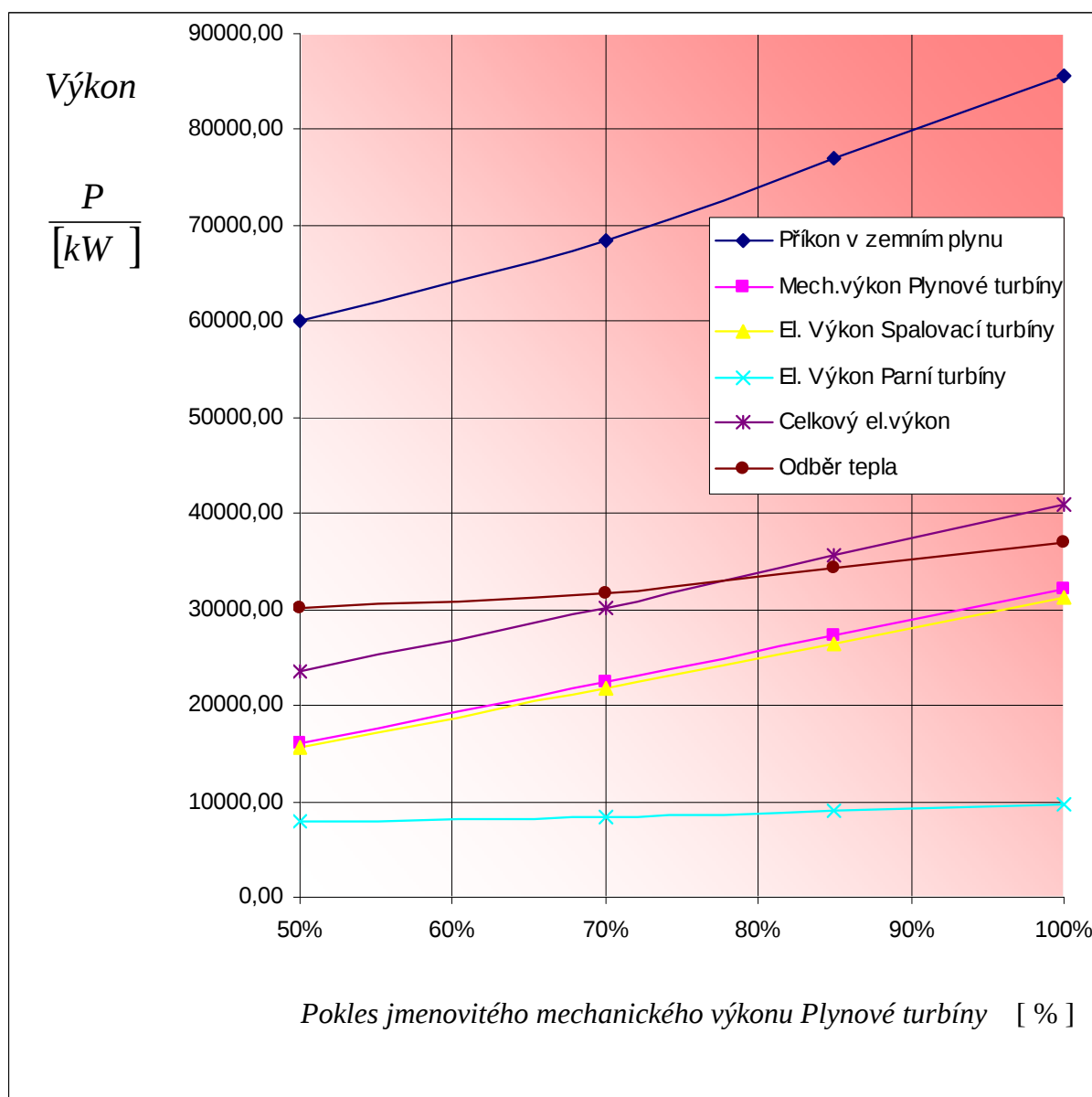
Model znázorňuje regulaci paroplynové teplárny tak, že postupně klesají odběry tepla, celkově asi o čtvrtinu jmenovitého výkonu. Hlavním výstupem je závislost klesajícího odběru tepla na mechanickém výkonu plynové turbíny.

Regulovanou veličenou je zde příkon paliva na plynovou turbínu. Při regulaci soustavy tak, aby i při nižším odběru tepla byly minimalizované ztráty, rapidně klesá elektrická účinnost a elektrický výkon zdroje.

Výkony [kW], Účinnosti [-]	Výkon Plynové turbíny			
	50%	70%	85%	100%
Mech.výkon Plynové turbíny	16020,00	22428	27234	32040
El. Výkon Plynové turbíny	15591,66	21828	26506	31183
Příkon v zemním plynu	59967,91	68535	77102	85668
El. Výkon Parní turbíny	8008,05	8401	9087	9772
Celkový el.výkon	23599,71	30229,75	35592,534	40955,320
Odběr tepla	30249,96	31735,92	34324,57	36913,21
Tepelná účinnost	0,50	0,463	0,445	0,431
Elektrická účinnost	0,39	0,441	0,462	0,478
Celková účinnost cyklu	0,90	0,904	0,907	0,909
Poměr Mpal/Mpal j.	0,7	0,8	0,9	1

Tab. 10 – Průběhy výkonů v závislosti na snižování Mech. účinnosti Plynové turbíny

Konstrukčním řešením odběrů tepla za parní turbínou při nižším výkonu může být rozdělení na dvě větve s regulovaným průtokem. První větev by odváděla výkon na tepelný výměník Pára X Voda pro odběr tepelného výkonu z teplárny. Druhá větev může využít odpadní teplo na zvýšení parametrů napájecí vody před kotlem apod. To by znamenalo zvýšení elektrické účinnosti Parní turbíny. Toto zvýšení je však z pohledu celku velice malé a proto bylo v tomto modelu zanedbáno.



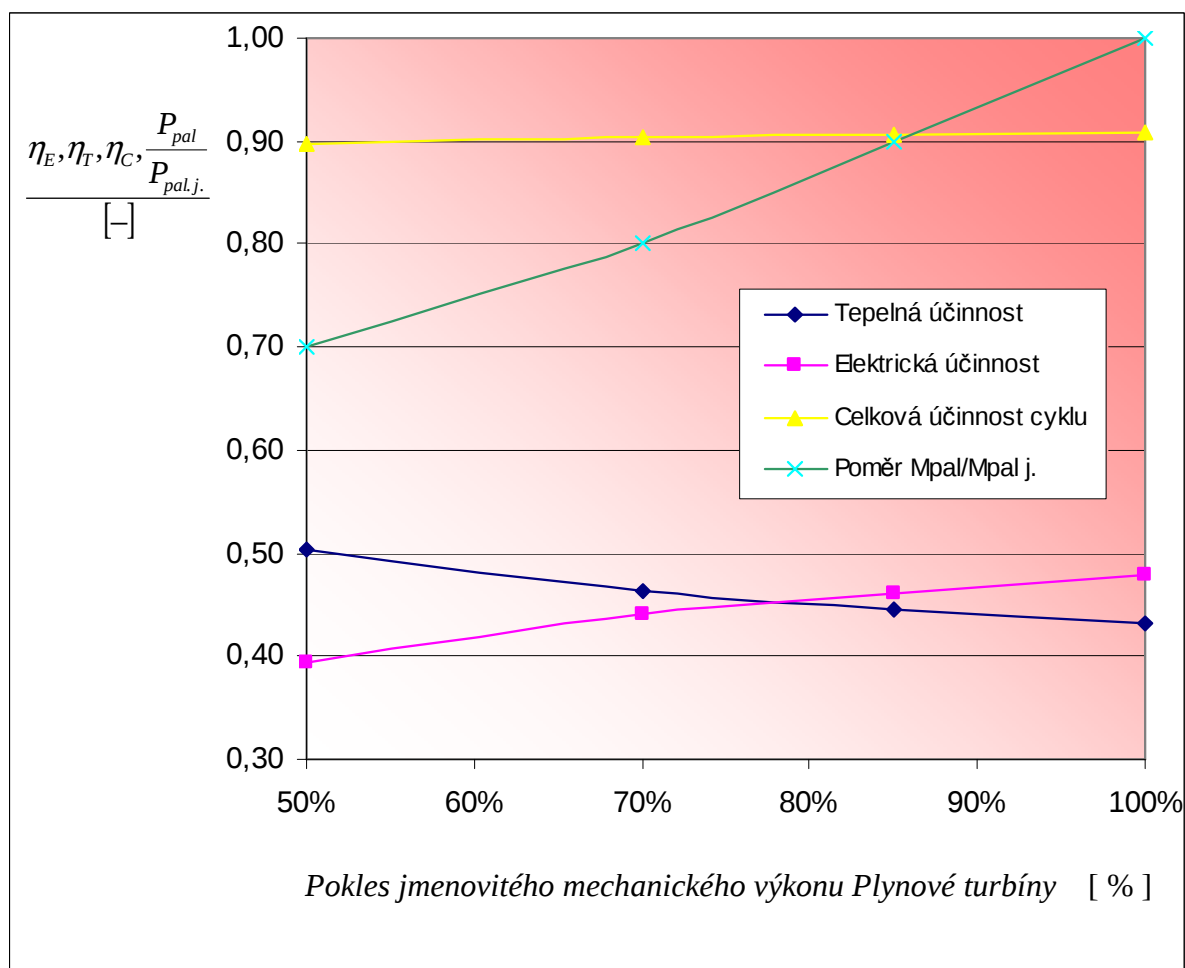
Graf 3 – Průběhy výkonů v závislosti na snižování Mech. výkonu Plynové turbíny

Z grafu č.1 je dobře vidět průběhy jednotlivých výkonů v závislosti na snižování příkonu paliva. Celý model je navržen tak, aby zobrazoval pokles odběrů tepla o 1/6.

Důležitý je poměr paliva ku elektrickému výkonu plynové turbíny. Kdy při necelém třetinovém snížení příkonu klesá jmenovitý výkon turbíny na méně než polovinu. Celkový elektrický výkon téměř kopíruje křivku snížení výkonu plynové turbíny, protože výkon turbíny parní klesá jen málo.

Graf č. 4 znázorňuje pokles stejnou situaci jako Graf č. 1 z pohledu účinností. Je v něm dobře vidět snaha o regulaci bez tepelných ztrát a to na celkové účinnosti Teplárny. Ta se drží stále okolo hranice 90%, to svědčí o správnosti návrhu modelu. Dále můžeme vidět rostoucí tepelnou účinnost na úkor účinnosti elektrické. Při snížení odběrů tepla o 1/6 jmenovitého

výkonu klesne elektrická účinnost z původních 47,8% pod 40%. Při dalším snižování odběrů tepla elektrická účinnost klesá ještě ostřeji. Proto je mnohdy finančně výnosnější udržovat vyšší elektrický výkon a nevyužité teplo použít k předehřevu napájecí vody, nebo jej i mařit ve vzduchovém výměníku, nebo chladicí věži.



Graf 4 – Průběhy účinností v závislosti na snižování Mech. výkonu Plynové turbíny

Celkově z modelu a uvedených grafů jasně vyplývá, že paroplynový cyklus má při jmenovitých parametrech díky svému zapojení vynikající elektrické a celkové účinnosti. Mírný pokles odběru tepla má však za následek neúměrné snížení elektrické účinnosti a tedy i efektivnost této varianty. Paroplynová teplárna nemůže pracovat tak, aby kopírovala tepelný odběr. Princip cyklu je navržen na pokrytí základního tepelného zatížení. Odběrové špičky pak vykrývají další špičkové zdroje. Toto do jisté míry může potlačit výstavba dostatečně velkého horkovodního zásobníku tepla. Po podrobnějším průzkumu odběrů tepla lze navrhnout optimální variantu tak, aby se zvýšila efektivita a celková ekonomika Zdroje.

Výhody

- Největší výhodou Paroplynového cyklu je velká celková účinnost. Z energie dodané v plynu využijeme až 91% a přitom má Zdroj teploty modul mírně vyšší, než 1.
- Postavení Paroplynové teplárny je obvykle dost rychlé a navíc dodávat do sítě může Spalovací turbína hned po dostavení spalovací části, zatím co parní oběh se teprve dostavuje.
- Parní i spalovací turbína jsou stroje, které mají jednu rotující část
- Vysoká účinnost a použité palivo zaručují nízkou zátěž na životní prostředí.

Nevýhody

- Hlavní nevýhodou je složitá regulace a velký pokles účinnosti při nižším zatížení, než jmenovitém. Je to dáno výkonovými charakteristikami použitých turbín.
- Servisní prohlídky turbosoustrojí jsou finančně mnohem dražší, než u spalovacích motorů.

2.6.3. Ekonomická analýza Varianty B

Stejně jako u varianty A byl pro rozhodování vytvořen Ekonomický model investice, který posoudí, na kolik je investice do této varianty rentabilní.

Uvažovanými parametry jsou:

Investiční náklady:

Cena Plynové turbíny (31,2MW) s příslušenstvím	350 mil. Kč
Cena Parní turbíny (10,6) s příslušenstvím	150 mil. Kč
Stavba budovy	224 mil. Kč
Kabeláž, Technologické rozvody, elektroinstalace atd.	248 mil. Kč
Spalinový kotel + ostatní technologické součásti	285 mil. Kč

Provozní náklady

Olejoyé náplně, mazadla apod. + servis	3000 tis. Kč/rok
Personální náklady	4320 tis. Kč/rok
*Uvažujeme 12 lidí (4x 3směny)	
Daň	20%
Palivo	600Kč/MWh

Výnosy:

Výkupní cena el. energie	1225 Kč/MWh
Výkupní cena vyrobeného tepla	445 Kč/GJ

Inflace	2 %
Doba hodnocení investice (životnost)	30 let

Celková cena vyráběné elektřiny se skládá z parametrů uvedených v následující tabulce.

Cena za vyrobenou el.	1225	Kč/MWh
Za decentralizovanou výrobu	20	Kč/MWh
Příspěvky KVET	45	Kč/MWh
	1290	Kč/MWh

Tab. 11 – Složky ceny elektrické energie

Uvažované odběry tepla jsou shodné pro celý projekt, tedy stejné jako ve variantě A. Rozdílné jsou však účinnosti a tedy i elektrický výkon vyrobený při stejném odběru tepla. Protože má PPC lepší elektrickou účinnost než KJ vyrobí při stejném odběru tepla více elektřiny. Vyrobit stejný tepelný výkon Paroplynové teplárně trvá ale déle. Ovšem celková účinnost, která je u PPC vyšší, než u KJ má za následek nižší spotřebu plynu za rok, než mají KJ. Pro jednoduchost a jasnější představu byla zanedbána výše popsaná změna účinnosti při regulaci výkonu.

Energetická bilance					
	Potřeba		Paroplynová Teplárna		
Měsíc	Teplo (GJ)	tep. výkon / [MWh]	El.výkon / [MWh]	počet hodin / [h] (jm.výkon)	Spotřeba plynu [MWh]
Leden	79987	22219	23217	555	49968
Únor	67185	18662	19501	467	41971
Březen	42763	11879	12413	297	26714
Duben	9640	2678	2798	67	6022
Květen	3626	1007	1053	25	2265
Červen	3770	1047	1094	26	2355
Červenec	3440	955	998	24	2149
Srpen	3196	888	928	22	1996
Září	3583	995	1040	25	2238
Říjen	23591	6553	6848	164	14738
Listopad	45645	12679	13249	317	28515
Prosinec	57759	16044	16765	401	36082
Celkem	344183,4	95606,5	99904,0122	2390,1625	215014,24

Tab. 12 – Měsíční a roční výroba energií

Za rok tedy náš Zdroj spotřebuje, vyrobí a je schopen prodat objem energií, který je popsán v následující tabulce. Je zde uvažována i vlastní El. spotřeba zdroje závisající na počtu provozních hodin Zdroje za rok.

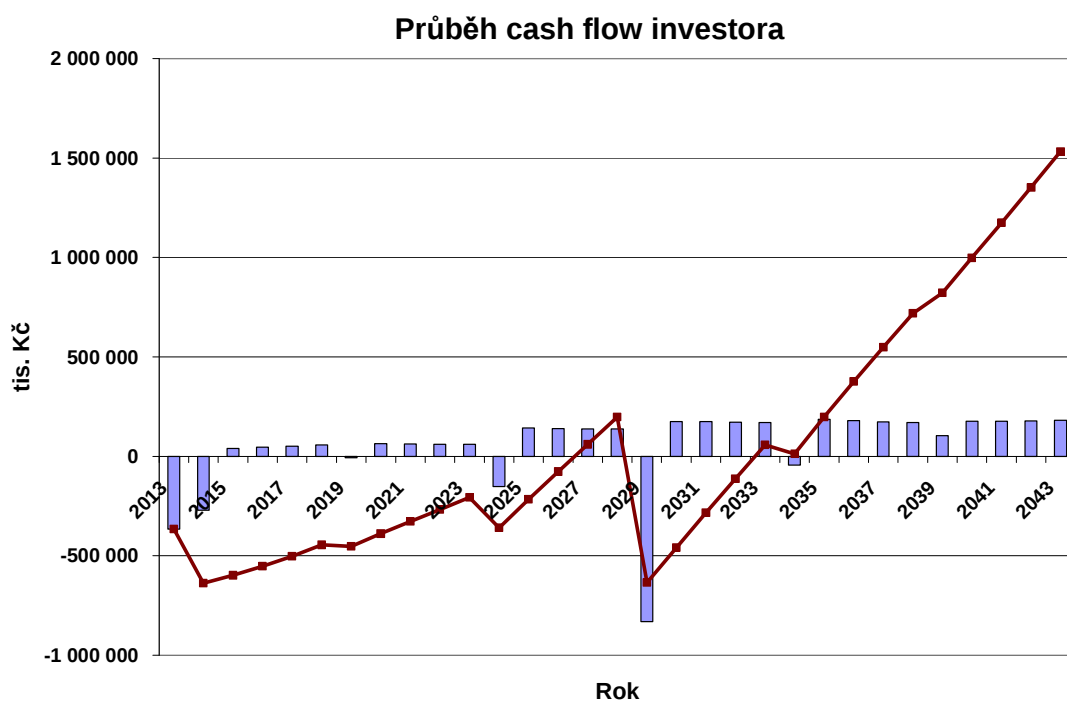
Vlastní spotřeba	0,87	MW
Vlastní spotřeba	2079,4	MWh/Rok
Elektrický Výkon/rok	99904	MWh/Rok
Tepelný Výkon/rok	95606,5	MWh/Rok
Spotřeba plynu při Jm.výkonu	215014	MWh/Rok

Tab. 13 – Průměrná roční výkonnost Zdroje

Stejně jako u varianty A se předpokládá zahájení výstavby Zdroje v Únoru 2013 a v provozu by měl být v Říjnu 2014. I když výstavba spalínového kotle a technologie pro parní turbínu trvá obvykle déle, v rámci ekonomického porovnávání necháváme stejnou dobu výstavby, jako u varianty A.

Životnost zdroje před generální opravou závisí na způsobu provozování obou turbín. Rychlé starty plynové turbíny jí ubírají na životnosti a uvažuje se za každý start určitý počet ekvivalentních provozních hodin a které turbína přichází. Podobně je to u parní turbíny, ta ale není stavěna na rychlé starty a před startem se musí dlouho prohřívat na provozní teplotu. Životnost budeme tedy uvažovat okolo 30ti let.

Použitá zisková kritéria k vyhodnocení rentability varianty jsou stejná, jako u varianty A, abychom je spolu mohli porovnat. Už průběh Cash flow napovídá, že varianta B bude méně zisková, protože diskontovaný Cash flow se dostává nad nulovou hranici jen z těžka a až mezi roky 2033-34. Prostá doba návratnosti (doba splacení) projektu je tedy mnohem delší, než u varianty A.

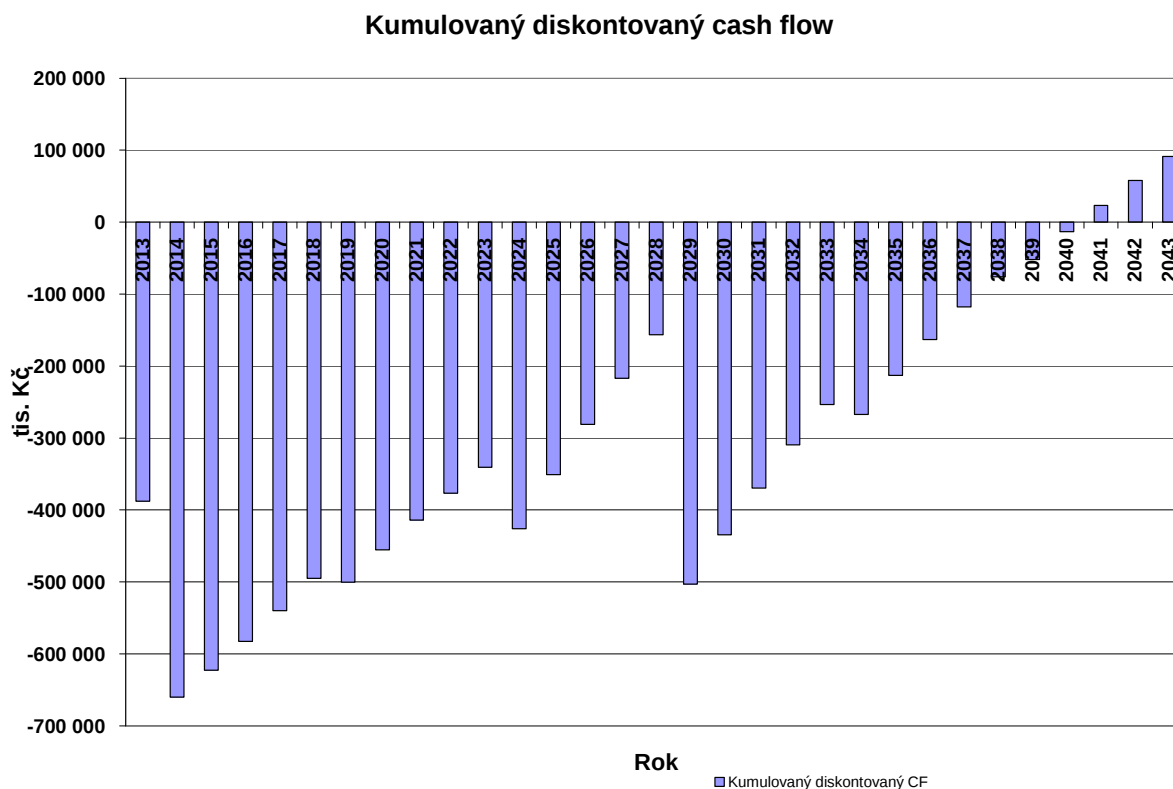


Graf 5 – Průběh cash flow investora

Hotovostní tok běžného roku (CF)

Kumulovaný CF

Mnohem více vypovídajícím kritériem je diskontovaný cash flow. Z Grafu 6 je jasné vidět, že Varianta B je výdělečná, ale mnohem méně, než varianta A. Diskontovaná doba návratnosti je 28 let, což při investici 1,2 miliardy Kč přestává být investičně zajímavé.



Graf. 3 – Kumulovaný diskontovaný cash flow investora

Když se podíváme na tabulku s hodnotícími kritérii Varianty B, zjistíme že Čistá současná hodnota je kladná. Diskontní sazba pro výpočet činí 6%. Kdybychom použili vyšší Diskontní sazbu, např. 7% byla by čistá současná hodnota už záporná.

Hodnotící kritéria		
Čistá současná hodnota	91 319,39	tis. Kč
Vnitřní výnosové procento	6,87	%
Doba splacení (prostá)	14 20	let
Doba splacení (diskontovaná)	28	let
Doba životnosti (hodnocení)	30	let

Tab. 14 – Hodnotící kritéria investice

Toto dokonale vystihuje Vnitřní výnosové procento které činí 6,87%. Při takhle vysoké počáteční investici, je tahle varianta jen stěží proveditelná.

2.7. Porovnání a výběr variant

Obě varianty byly rozebrány z technického i ekonomického hlediska. Obě varianty jsou reálně technicky proveditelné a splňují požadavky zadání Projektu.

Ekonomická diskuze

„Protože základní jednotkou energetiky je stále Česká Koruna.“ Rozhodujícím faktorem je ekonomické srovnání.:

Ekonomická hodnotící kritéria			
Varianta	A (KJ)	B (PPC)	
Čistá současná hodnota	596 787,72	91 319,39	tis. Kč
Vnitřní výnosové procento	12,28	6,87	%
Doba splacení (prostá)	9	14 20	let
Doba splacení (diskontovaná)	13 17	28	let
Doba životnosti (hodnocení)	30	30	let

Tab. 15 – Ekonomická hodnotící kritéria investice všech variant

Z ekonomického srovnání jasně vyplývá, že je výnosnější zvolit variantu A - Soustavu pístových kogeneračních jednotek. Ve všech hodnocených kritériích investice tato varianta vychází lépe, než varianta B. Varianta B má o pětinu vyšší náklady než Varianta A a její návratnost vzhledem k velikosti rizik spojených s investicí takového rozměru je naprosto nedostačující. Vnitřní výnosové procento, které je u varianty B jen o málo větší než zvolená diskontová sazba, se pohybuje na hranici proveditelnosti. U Varianty A je toto kritérium na takové úrovni, že lze tuto variantu doporučit k realizaci.

Technologická diskuze

Hodnotící kritéria			
Varianta	A (KJ)	B (PPC)	
Účinnost celková	86,9	91	%
Účinnost elektrická	44,2	46,5	%
Účinnost tepelná	42,7	44,5	%
Schopnost regulace výkonu	Velmi dobrá	Malá	
Riziko poruchovosti	Vyšší	Nízké	
Dostupnost servisu v ČR	Výborná	Velmi dobrá	
Dostupnost náhradních dílů	Výborná	Velmi dobrá	

Tab. 16 – Technická hodnotící kritéria investice všech variant

Při zadaném provozu je zásadním parametrem možnost regulace výkonu. Zvláště v letním období kdy odběr tepla je velmi malý Paroplynové teplárně při nízkých výkonech rapidně klesá elektrická účinnost. Kogenerační jednotky tento problém tak nepocítí, protože jsou složeny z jednotlivých výkonových segmentů. Při vhodné regulaci a odstavování jednotlivých jednotek tak dosahují téměř jmenovitých účinností.

Poruchovost obou variant závisí hlavně na kvalitě servisování Zdroje. Soustava Kogeneračních jednotek je však přesto k poruchám náchylnější než Paroplynová teplárna, Protože Varianta A má mnohokrát víc různých pohyblivých a cyklicky namáhaných částí je mnohem větší riziko toho, že se vyskytne materiálová únava, nebo jiná vada. Na druhou stranu při poruše jedné KJ v soustavě klesne sice celkový výkon, ale ostatní jednotky mohou dále dodávat do sítě. U turbínových motorů jsou havárie z 90% zaviněny lidskou chybou, nebo provozem mimo výrobcem stanovené podmínky. Když však havárie nastane je znemožněn provoz celé větve u parní turbíny a u plynové turbíny celé teplárny. Pro tento případ bývá v záloze ještě jeden rotor turbíny i s lopatkami.

U Varianty A odpadá navíc složitý systém vodního hospodářství, jaký musí mít parní oběh turbíny.

Instalace technologií při výstavbě je v obou případech celkem rychlá, u Varianty B jsou však nároky na čas instalování vyšší.

Obě Varianty spalují zemní plyn s vysokou celkovou účinností, takže nejsou velkou zátěží pro životní prostředí.

Vyhodnocení výběru

Z hodnocených technických kritérií vycházejí obě varianty poměrně dobře. Varianta B má o něco vyšší účinnosti. Na druhou stranu Varianta A má proti Variantě B více výhod v čele s mnohem lepší možností regulace výkonu systému. Čímž do jisté míry potlačuje výhodu vyšších účinností Varianty B.

Z ekonomického hlediska je výběr jednostrannější. Všecky hodnotící kritéria ukazují na výhodnost varianty A. Proto, jako realizovatelnou variantu **volíme Variantu A** – Soustavu pístových kogeneračních jednotek.

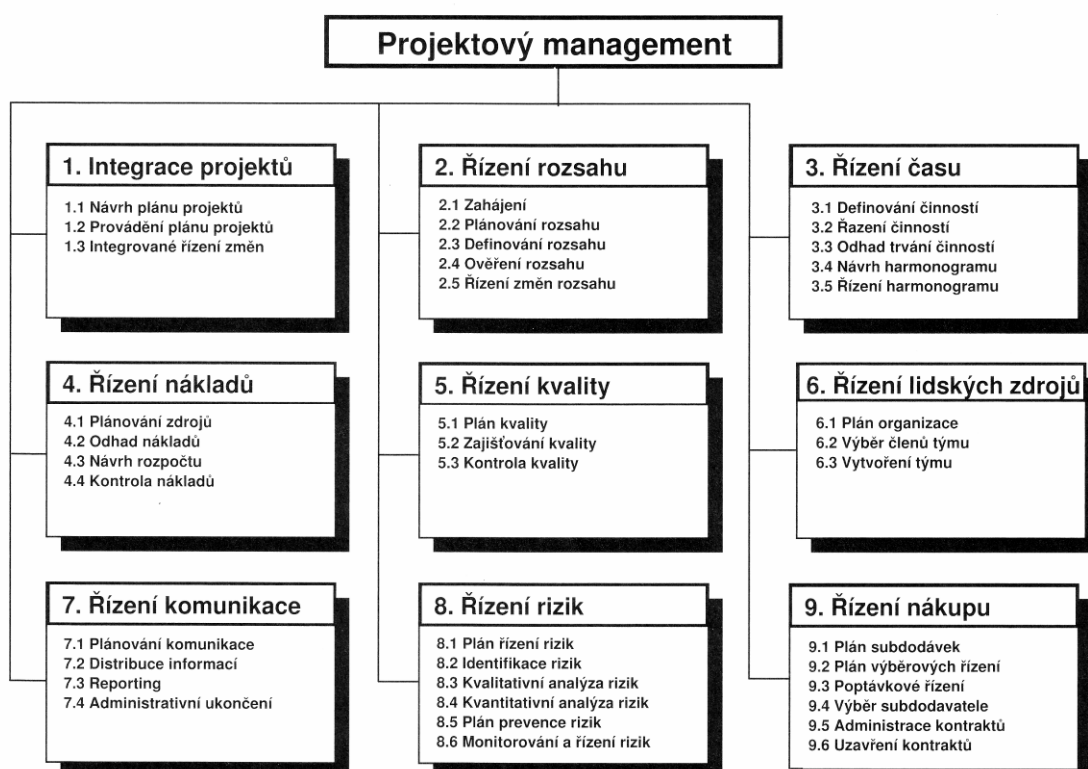
3. Zahájení projektu, dokumentace Basic Design

Po zpracování kroků předprojektové fáze, tedy studie příležitosti a studie proveditelnosti, se investor na základě nich rozhodne o zahájení projektu. V našem případě se jedná o výstavbu popsaného technologického celku. Výstavba jako sled činností má všechny znaky projektu (časové ohraničení, jasný cíl atd.).

3.1. Zahájení projektu a plánování

V této fázi dochází k sestavení projektového týmu a většinou také ke vzniku zakládací listiny projektu. Zakládací listina např. dle IPMA obsahuje seznam členů projektového týmu s kontakty, cíl projektu, časový rámec projektu, plánované náklady, detailní specifikaci projektu, organizaci a řízení projektu, role v projektu, komunikační matici, matici odpovědností, hlavní milníky projektu, způsob řízení změn, způsob vnější komunikace a kontrolní mechanismy.

Projektový tým musí mít dostatek znalostí z více oblastí aby mohl zvládnout řízení všech hlavních oblastí projektového managementu. Jejich přehled je uveden v následujícím schématu. V našem případě jde o jeden projekt, takže integraci projektů (1) se nezabýváme.



Obr. 18 – Hlavní oblast projektového managementu [1]

Po zahájení projektu následuje etapa plánování ve všech oblastech a jeho výstupem je mimo jiné i řídicí harmonogram realizace projektu. V něm jsou zaneseny hlavní činnosti s termíny (milníky) od zahájení do ukončení projektu (tvorba dokumentace, povolovací řízení, realizace, kolaudace atd.).

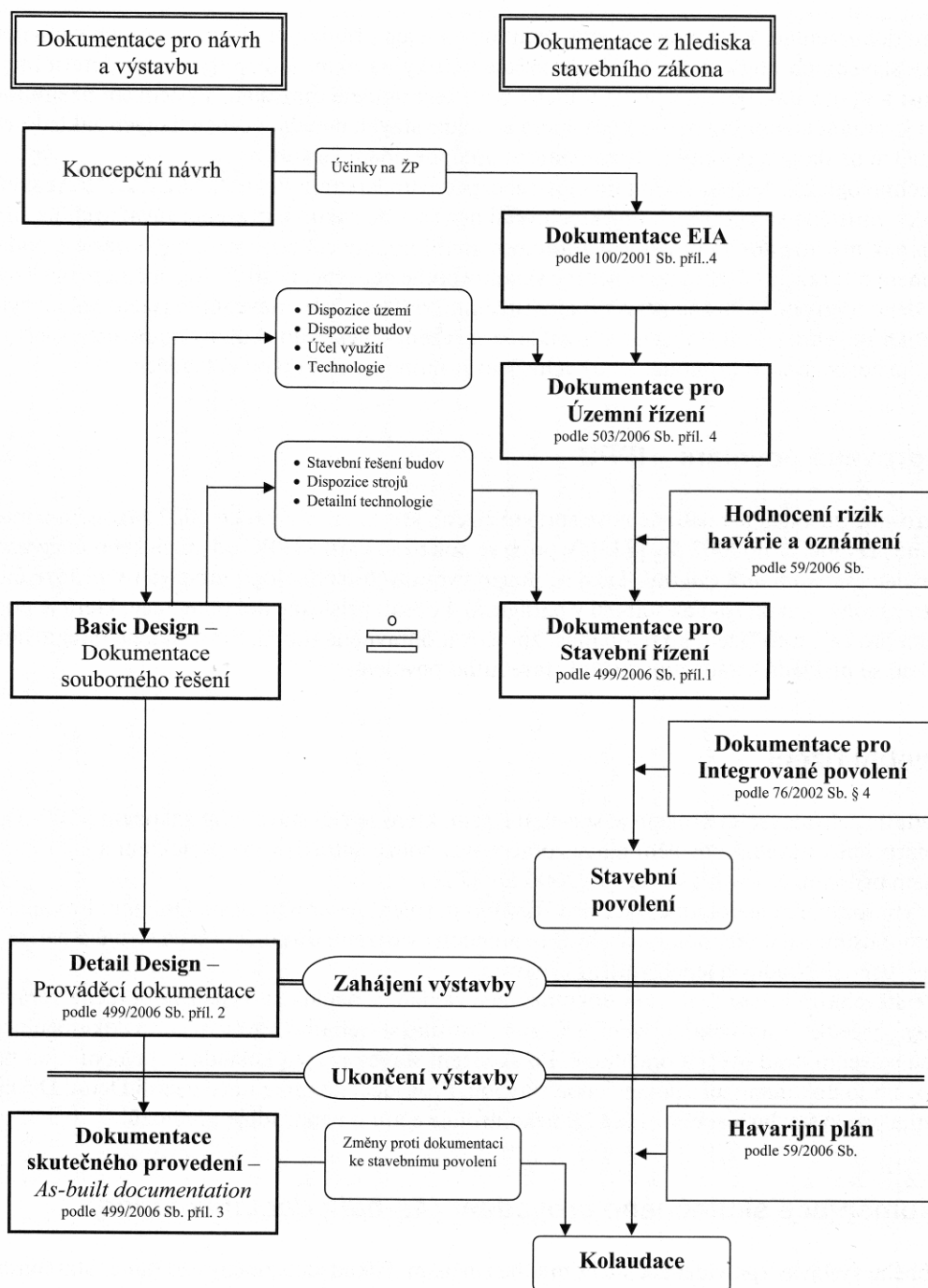
3.2. Legislativa a Basic Design

Mezi velmi důležité milníky patří získání příslušných povolení, k čemuž je nutno zajistit tvorbu dokumentace pro povolovací řízení. Většina staveb musí projít následujícími kroky povolovacího řízení. Prvním je posouzení vlivu stavby na životní prostředí tzv. **EIA – Environmental Impact Assessment**, kde tuto povinnost upravuje zákon č.100/2001 Sb. Pro zpracování této dokumentace je nutné definovat vstupní technologické podklady, výstupní produkty, zejména odpadní látky a to jak z hlediska ovzduší, tak z hlediska odpadních vod a pevných odpadů. Zákon stanovuje stavby, které podléhají jen zjišťovacímu řízení (např. zařízení ke spalování paliv s tepelným výkonem vyšším než 50 MW) a které je nutné posoudit (například některé galvanovny či zařízení ke spalování paliv s tepelným výkonem větším než 200 MW). U teplárny je to tedy odvislé od velikosti výkonu zdroje. Pro posouzení z pohledu EIA již nestačí jen koncepční návrh, ale je nutno předložit dokumentaci zpracovanou specializovanou autorizovanou osobou. Součástí dokumentace je i posudek, který vyhodnotí vliv odpadních látek atd. na životní prostředí. Pro tyto stavby, které podléhají procesu EIA, je kladné stanovisko podmínkou dalšího stupně, jímž je územní řízení. Posouzení vlivu na ŽP je časově náročné a trvá běžně 8 měsíců, toto se však našeho zdroje netýká. Ani nižší stupeň tzv. zjišťovací řízení, které trvá minimálně 1,5 měsíce, by se naší stavby neměl týkat, vzhledem k výkonu 40 MW.

Druhý stupeň povolování stavby je **územní řízení (ÚŘ)**, zde se posuzuje zda stavba požadovaného účelu může být umístěna na daném pozemku. Územní řízení vychází ze stavebního zákona č. 82/2006 Sb. a rozsah projektové dokumentace je dán přílohou č.4 vyhlášky č. 503/2006. Ve většině případů postačí koncepční návrh (Conceptual Design) popřípadě projektová studie. Zpracování této dokumentace trvá cca 2 měsíce a od doručení stavebnímu úřadu do vydání územního rozhodnutí je max. 90 dnů, nabytí právní moci pak trvá dalších 15 dnů. Takže od zahájení zpracování dokumentace po vydání územního rozhodnutí obvykle uběhne 4 až 6 měsíců (pokud by bylo nutné řešit vynětí pozemků ze zemědělského půdního fondu protáhne se o minimálně dalšího čtvrt roku). V našem případě budeme plánovat na etapu územního řízení od zahájení přípravy dokumentace do získání souhlasu cca 5 měsíců.

Některé stavby podléhají také **integrovanému povolení – IPPC** (Integrated prevention pollution and Control), jedná se o správní řízení, které vzniklo v roce 2002. Dokumentaci musí zpracovat zvlášť oprávněná osoba. Vztahuje se například na galvanovny, kde je ročně spotřebováno množství zvlášť nebezpečných látek (např. šestimocný chrom) nad stanovenou mez. U spalovacích zařízení s tepelným výkonem větším než 50 MW je rovněž nutné IPPC. Doba získání IPPC je cca 6 až 8 měsíců včetně tvorby dokumentace. U našeho zdroje tuto etapu neuvažujeme. Přehled jednotlivých kroků schvalovacího řízení a tvorby dokumentace vyjadřuje dále uvedené schéma.

Projektové řízení výstavby technologického celku



Obr. 19 – Hlavní oblast projektového managementu [1]

Je tedy patrné, že rozhodujícím dokumentem je **stavební povolení**. Dokumentace pro stavební povolení je na úrovni **Basic Designu** a obsahuje technologická i pomocná zařízení, dispozici všech strojů a zařízení včetně dispozice budov a jejich vnitřního vybavení. Rozsah dokumentace určuje vyhláška 499/2006 Sb. a může ji zpracovat rovněž jen autorizovaná osoba, která každý výkres označí svým razítkem. Žádost se podává na místně příslušný stavební úřad, ten ji po schválení rovněž označí razítkem úřadu (po ukončení stavby se při kolaudaci porovnává tato dokumentace s dokončenou stavbou (prováděcí dokumentací – Detail Design stavební úřad nekontroluje ani nepožaduje).

Žadatel o stavební povolení se nazývá stavebník a je to obvykle vlastník nové stavby. Dalším krokem je projednání dokumentace. Stavební úřad určí orgány, které se budou ke stavbě vyjadřovat (př. hygiena, požárníci, odbor životního prostředí, vodohospodářský orgán atd.). Těmto se doručí stavební dokumentace a do 30 dnů se musí vyjádřit (mohou však pořádat o prodloužení této lhůty až na 60 dnů). Je nutné získat od všech kladná stanoviska a pokud možno co nejméně připomínek. Stanoviska se dodají stavebnímu úřadu a ten následně vypíše místní šetření, které probíhá na místě stavby. Po místním šetření (kde nejpozději mohou účastníci uplatnit připomínky) stavební úřad vyhotoví stavební povolení a oznámí to všem účastníkům (zde běží od doručení 7 denní lhůta pro odvolání). Oznámení je možné i veřejnou vyhláškou vyvěšenou na 15 dní (poslední den je i poslední možnost odvolání). Dnem nabytí právní moci stavebního povolení je možno začít stavět.

V našem případě uvažujeme s dobou zpracování dokumentace pro stavební povolení cca 3 měsíce a s délkou stavebního řízení cca 2 měsíce. Vzhledem k velikosti stavby nelze počítat s tím, že by stavební úřad sloučil územní řízení se stavebním povolením. Můžeme však překrýt etapu tvorby dokumentace Basic Design s obdobím ÚŘ a místo 10 měsíců by cesta ke stavebnímu povolení mohla trvat teoreticky jen 7 měsíců. V praxi však získání stavebního povolení na stavby tohoto rozsahu trvá cca 8 až 10 měsíců. Je rovněž nutno dodat, že zdroje o příkonu 5 až 50 MW jsou považovány již za velké zdroje znečištění podle zákona 86/2002 Sb. a je nutno aby příslušný krajský úřad na základě žádosti vydal příslušné povolení. Odbor ŽP KÚ musí vydat povolení ke každému řízení, tj. před podáním žádosti o ÚŘ a další před podáním žádosti o stavební povolení. Při uvážení těchto skutečností a na základě zkušeností z obdobných případů je lépe plánovat, od dokončení studie proveditelnosti do získání stavebního povolení cca 8 až 9 měsíců.

4. Výběr generálního dodavatele a uzavření smlouvy

Státní instituce a firmy s majetkovým podílem měst či obcí jsou povinny se řídit podmínkami pro veřejné soutěže a zakázky. Tato povinnost neplatí sice pro privátní investory, ale i ty mohou využít některé právní kanceláře specializující se na tyto výběry nebo tyto obecně známe postupy.

Připravit kvalitně výběrové řízení na dodavatele není jednoduché a jedná se i o časově náročný proces. Proto je vhodné jeho přípravu zahájit již souběžně s etapou územního řízení a získávání stavebního povolení. Již po dokončení studie proveditelnosti si lze dle zvoleného řešení nastavit požadavky na kvalifikační předpoklady a rozsah referencí budoucího dodavatele.

4.1. Výběr generálního dodavatele

Toto je dalším důležitým krokem vlastníka. Na základě dosavadních zkušeností se stavby našeho typu zajišťují převážně prostřednictvím generálního dodavatele, najímání si více dodavatelů různých profesí s cílem ušetřit je sice také možné, ale vyžaduje to eliminovat možná rizika (podrobněji rozvedeno u popisu druhů kontraktů). Investor ve spolupráci s projektovým týmem připraví projekt pro výběr dodavatele, kde upřesní harmonogram realizace na základě dostupných informací při respektování technologicky nutných časů (zakládání stavby, zrání betonu, doba dodávky technologií atd.). I když je cílem investora aby mu investice co nejdříve vydělávala, je nutno stanovit maximální termín dokončení stavby přiměřeně náročný, ale reálný (kratší termín je dodržen většinou na úkor kvality nebo vyšší ceny). Splnění požadovaných termínů je nutno si zajistit stanovením odpovídající sankce. Při výběru lze rovněž stanovit maximálně přípustný termín a v rámci hodnotících kritérií si stanovit, možnost pro dodavatele nabídnout kratší termín. Ovšem zase může nastat situace, že firma s kratším termínem bude mít vyšší cenu. Pokud má investor na výběr dostatek času může na základě informací získaných z výběrového řízení s dodavatelem ještě dále vyjednávat. Většinou má dnes na výběr dodavatele největší vliv nabídnutá cena, kde pro její stanovení je nutno zadat co nej přesněji rozsah prací a to většinou formou výkazu a výměru. Zde je však nezbytné čerpat z tzv. dokumentace pro výběr dodavatele, protože dokumentace pro stavební povolení totiž nezahrnuje všechny potřebné práce. U jednoduchých staveb se použije prováděcí dokumentace, kterou zpracuje investor, ale v našem případě ji bude zajišťovat dodavatel.

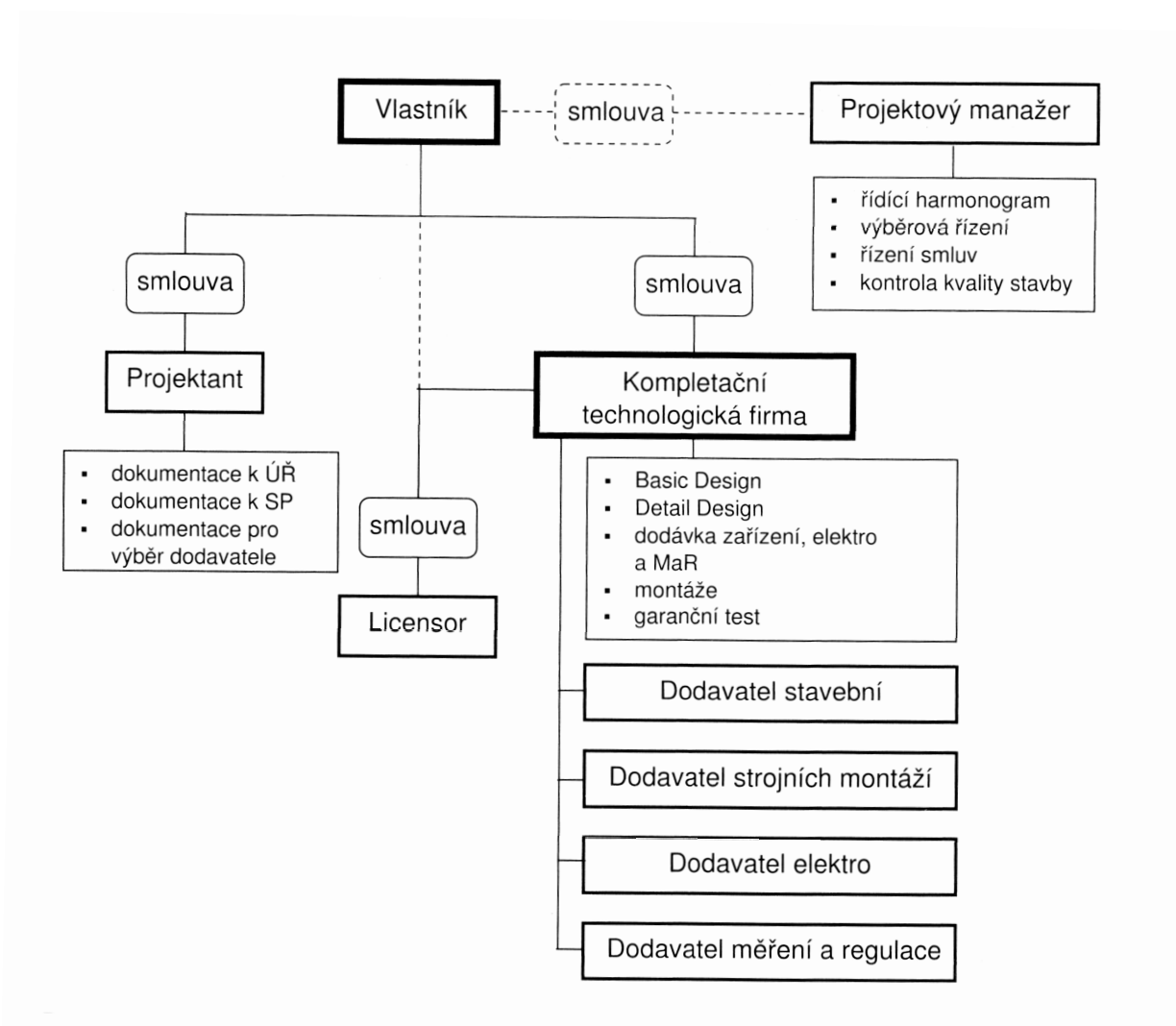
Prováděcí dokumentace neboli také Detail Design, popisuje podrobnosti stavby umožňující dodávku materiálu a zařízení, výstavbu, montáž a zkoušky. Detail Design lze realizovat po dokončení dokumentace pro stavební povolení z níž musí vycházet. Investor obvykle na základě smlouvy s projekční firmou zajistí dokumentaci k ÚŘ, dokumentaci k SP a dokumentaci pro výběr dodavatele (obsahující výkaz a výměr).

Mimo nastavení kritérií pro hodnocení (cena, termín atd.) je nutné jako podmínky výběru zadat důležité parametry projektu. Jedná v první řadě o požadavky klíčové, které musí být splněny (emise, hluchost a další vyplývající např. ze stavebního povolení), jinak by nebylo možné stavbu kolaudovat a tudíž ani plně využívat. Při nesplnění těchto požadavků se stavba nepřevezme a bude nutno ji upravit aby byly uvedené požadavky splněny. Další jsou požadavky a parametry sankcionovatelné, jako elektrický výkon, tepelný výkon, spotřeba paliva aj., které v případě, že nebudou naplněny ohroží výnosnost projektu. Nedodržení těchto parametrů je nutno opět navázat na přiměřenou finanční sankci abychom dosáhli plánované výnosnosti projektu. Z praxe jsou známy případy, kdy se odhad přínosů s vlastní skutečností po realizaci lišil o více jak 50 %, bohužel nejen nahoru, ale i dolů. A právě velký podíl na tom mělo podcenění kvalitní přípravy této etapy a nezadání nebo neúplné zadání některého z důležitých parametrů.

4.2. Příprava a uzavření smlouvy

Někdy je součástí projektu pro výběr generálního dodavatele i koncept smlouvy, jindy aspoň parametry pro její tvorbu, kde jsou řešeny platební podmínky, záruční podmínky, zkoušky, způsob předání atd.

Důležitý je také výběr typu kontraktu z čehož se odvíjí počet uzavřených smluv na straně vlastníka. Jednou z možností je uzavřít tzv. **EPC kontrakt** (Engineering, Procurement, Construction), což je **dodávka na klíč**. Zde vlastník předběžně popotá technologické zařízení a získané technické údaje slouží jako podklad pro projekční firmu, která zpracuje potřebné dokumentace a následně se vybere dodavatel, který uvedenou technologii zakoupí (nebo na sebe převede již uzavřenou smlouvu mezi vlastníkem a dodavatelem technologie – licensorem). Pak dodavatel odpovídá i za kvalitu technologie a její parametry a nese veškeré záruky. Nevýhodou je však, že si většinou dodavatel (např. kompletační technologická firma) nechá za přenesení rizika odpovědnosti za technologii zaplatit.

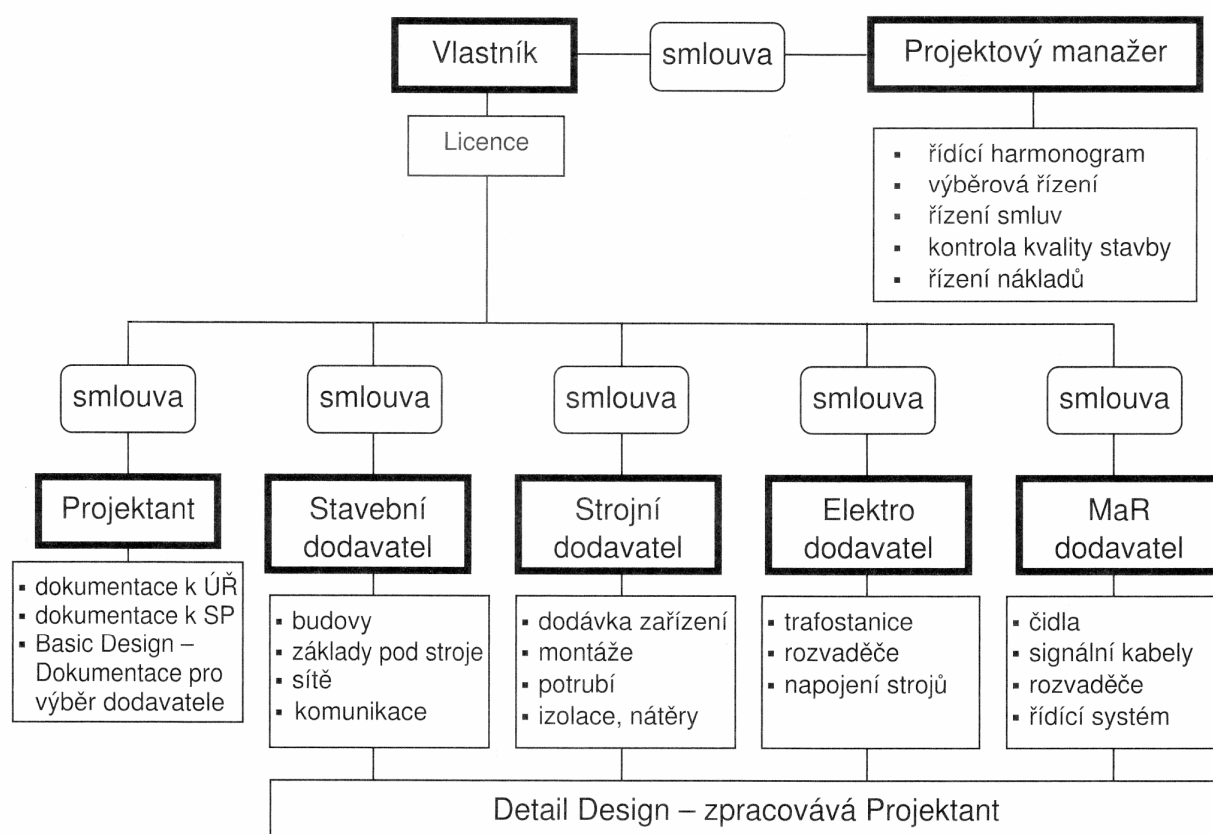


Obr. 20 – EPC kontrakt – dodavatelský systém s jedním vyšším dodavatelem [1]

U zakázek, kde technologie představuje velké náklady a poplatek za přenesení rizika na dodavatele by byl pro vlastníka neakceptovatelný uzavře vlastník kontrakt přímo s dodavatelem, což však představuje pro vlastníka smlouvu navíc.

Tento postup se používá zejména u technologie ze zahraničí, kdy ji dodavatel dodá a provede dozor při montáži, kterou včetně pomocných prací a rozvodů zajistí kompletační technologická firma, která má většinou podstatně nižší hodinové sazby atd. V tomto případě je Basic Design zahraničního dodavatele vstupem pro projektování Detail Designu celé jednotky.

Případ, kdy vlastník uzavře smlouvy s dodavateli jednotlivých profesí se nazývá systém **EPCM** (Engineering, Procurement, Construction, Management). Zde musí být pro všechny firmy zpracována prováděcí dokumentace – Detail Design jednou projekční firmou (nejlépe zpracovatelem Basic Designu). Tento systém je pro vlastníka nejlevnější, ale má vysoké kompletační riziko a je náročný na dozor a časovou koordinaci. Většinou je nutné spojení projektového manažera s projektantem, kdy vzniká EPCM kontraktor, který podle podkladů vlastníka zařízení vyprojektuje, provede výběr všech dodavatelů a tyto řídí.



Obr. 21 – Dodavatelský systém s více dodavateli – EPCM [1]

Typy smluv uzavírané mezi firmami vycházejí z obchodního zákoníku. Pro uzavření vztahu s projektantem stejně jako s dodavatelem stavby uzavřeme **smlouvu o dílo**. Na dozor s projektovým manažerem to může být smlouva mandátní a pro nákup některých technologií (které již existují při podpisu smlouvy) užíváme smlouvu kupní. Za nejsložitější lze považovat smlouvu na dodávku stavby, kde je možných mnoho typů od smlouvy s pevnou cenou, kde je přesně znám rozsah díla až po smlouvy s jednotkovými cenami, kde přesný rozsah prací je znám až na konci stavby. V našem případě volíme kontrakt typu EPC.

Sestavit dobrou smlouvu je složité a pro dílo našeho rozsahu již bývají velmi rozsáhlé. Klasická smlouva na dodávku stavby má část komerční a část technickou. V komerční části je definován předmět díla s odvoláním na část technickou (kterou většinou tvoří přílohy popisující rozsah dodávky), doba plnění, cena, platební podmínky, dodací podmínky, rozsah pojištění, záruky, smluvní pokuty, penále a náhrady škody. Důležité jsou rovněž milníky, ke kterým se sankce naváží jako termín předání jednotlivých částí Detail Designu, zahájení stavby, dodávky klíčových zařízení, doba montáže technologií, termíny zkoušek atd. Přílohou smlouvy může být harmonogram milníků a ne všechny je nutno mít pod sankcemi. Je vhodné definovat rovněž způsoby předání (protokoly) a přechod vlastnictví k dílu (dodavatel se snaží až po zaplacení, investor chce již při předání) a rovněž přechod odpovědnosti za škody (snaha dodavatele co nejdříve a objednatele co nejpozději). Na všem je nutno se dohodnout, pro vyjednávání existuje mnoho metodik a postupů a špičkový vyjednávač (např. projektový manager) může investorovi proti projektovanému plánu nákladů zajistit úspory a jiné výhody nemalých hodnot. Po konečné dohodě následuje podpis smlouvy, zde je nutné aby za obě strany smlouvu podepsaly oprávněné osoby (lze ověřit dle výpisu z obchodního rejstříku).

Platnost smlouvy ze zákona nastává dnem podpisu, ale její účinnost může být podmíněna například uhrazením nějaké zálohy či jinak a může nastat později než v den podpisu smlouvy (ne však dříve-zpětná účinnost může být právně zpochybněna). Do doby než nabude smlouva účinnosti nemusí dodavatel konat. Investor, pokud má zajištěné zdroje a schopný projektový tým zdánlivě končí svoji etapu, kdy ovlivňoval termíny realizace projektu. Ale nadále musí sledovat rizika a příležitosti ovlivňující výnosnost projektu stanovenou během předprojektové fáze (např. ukončení podpory KVET, zájem o vyšší dodávky tepla aj.). Po podpisu smlouvy s dodavatelem lze případné změny vzniklé vlivem některého z uvedených rizik řešit většinou dodatky po dohodě obou stran.

5. Detail Design, nákup zařízení a výstavba

Podpisem smlouvy přechází díl odpovědnosti za další realizaci projektu na dodavatele. Tento musí zajistit celou řadu činností. Důležité je v jaké situaci se projekt nalézá, zda je v souladu s harmonogramem investora v předstihu či ve skluzu. Od toho se odvíjí i tlak investora na dodavatele. Dodavatel přistupuje ke realizaci předmětu smlouvy jako ke svému projektu. Zpracuje si harmonogram prací, který je podstatně podrobnější než harmonogram investora a proto se zde již užívá většinou výpočetní techniky a různých matematických metod (např. CPM metoda stanovení kritické cesty, PERT – pravděpodobnostní aj.), které mu pomohou stanovit maximálně efektivní postup. Je však nutno specifikovat činnosti a stanovit jejich doby trvání činností, její začátek a konec včetně možností překrytí s dalšími činnostmi (z pohledu provázanosti - až skončí tato může začít další atd.).

Pro přehledné zobrazení všech činností se používá např. Gantův harmonogram. Standardním nástrojem pro řízení projektů je program MS Project, který během realizace stavby dopočítá případné změny a přesuny, takže dodavatel má okamžitě přehled zda není některý z milníků investora ohrožen. V případě velkého množství činností (více jak sto) se činnosti rozdělí do příbuzných skupin a termíny realizace těchto skupin považujeme za milníky (optimální je cca do 20-ti milníků).

Projektové řízení probíhá i u dodavatele obdobně jako u investora. Provádí výběrová řízení na subdodavatele a uzavírá s nimi smlouvy, řídí lidské zdroje, termíny, náklady a musí zajistit požadovanou kvalitu. Musí zajistit komunikaci mezi subdodavateli, tak aby se předešlo vícepracím a prostojům.

5.1. Detail Design – prováděcí dokumentace

Důležitý krok v období zahájení realizace díla je dopracovat prováděcí dokumentaci Detail Design. Oproti dokumentaci pro stavební povolení je mnohem podrobnější. U popisu technologického procesu jsou základní teze dopracovány až do úrovně provozních předpisů, u potrubí se řeší detailní výkresy ukotvení, řezy a prostorové výkresy a již konkrétní typy izolace včetně specifikace nátěrů všech kovových konstrukcí. V oblasti měření a regulace se stanoví parametry a počty čidel, seznam kabeláže, specifikace hardware a software, v oblasti elektro se kreslí výkresy rozvaděčů, systémy jištění, požární poplachový systém (EPS), komunikační systém atd. Obdobně je tomu i u projektu stavby, kde jsou řešeny u stavebních objektů detaily oken, dveří, vnitřní rozvody vody a plynu, kotvení zařízení, řešení hasícího zřízení. Souběžně jsou řešeny pevnostní výpočty a propočty dimenzí potrubí aj. Zpřesňují se složení vrstev u komunikací, venkovní sítě a rozvody.

Zájmem dodavatele je aby navržený rozsah prací a nakupovaný materiál byl časově zvládnutelný a cenově přijatelný vzhledem k uzavřenému kontraktu. Dozor investora má zájem o co nejvyšší kvalitu dodávky a rovněž kontroluje tvorbu prováděcí dokumentace.

Dodavatel na základě prováděcí dokumentace upřesňuje vlastní milníky, které mu zajistí splnění milníků daných smlouvou s investorem. Musí si vytvořit svůj harmonogram, který obsahuje rezervy oproti harmonogramu investora, aby bylo možné řešit případné problémy. Z těchto důvodů si dodavatel musí provést svoje stanovení rizik (např. skluz dodávek, nepřízeň počasí) a příležitostí (zkrácení termínů, slevy na straně subdodavatelů), které se však týkají pouze dodávaného díla.

5.2. Nákup zařízení a subdodávky

Paralelně s tvorbou prováděcí dokumentace probíhá výběr jednotlivých dodavatelů a vyjednání cen a termínů dodávek zařízení, tak aby termínově navazovaly na realizaci stavby. Důležité je rovněž dohodnutí systému předávání zařízení a provádění zkoušek. Dodavatel je v této chvíli v roli zákazníka vůči svému dodavateli a některé zkoušky požadované zástupcem investora je nutno realizovat za jeho účasti v souladu s jeho harmonogramem.

Důležité je také řešení přenesení sankcí v případě, že subdodavatel nedodrží smlouvu (dílčí problém může ovlivnit návazné činnosti a sankce od investora pak mohou být vyšší než celková cena nepovedené dílčí subdodávky). Zástupce investora kontroluje průběh realizace prováděcí dokumentace a zajištění dodávek zařízení dle dohodnutého schématu.

Objednávky materiálu a subdodávek musí navazovat na harmonogram dodavatele, některé dodávky je možno dodat dříve, některé (např. kogenerační jednotky až po zajištění stavební připravenosti).

5.3. Realizace stavby

Co se týče výstavby, ta začíná převzetím staveniště od vlastníka, kdy přechází rizika spojená s prostorem staveniště z vlastníka na dodavatele stavby. Po celou dobu výstavby je veden stavební deník, kde jsou zapisovány všechny důležité údaje a tento je kontrolován i ze strany investora. U této fáze je nezbytným předpokladem úspěchu kvalitní prováděcí projektová dokumentace. Stavební práce se dnes standardně dělí na HSV (práce hlavní stavební výroby), kde patří hlavně zemní práce, základy, svislé a kompletní konstrukce, vodorovné konstrukce, komunikace, úpravy povrchů, podlahy, okna a dveře, trubní vedení a ostatní nosné konstrukce včetně boracích prací. Druhou skupinou jsou PSV (přidružené stavební výroby), které zahrnují izolace, zdravotní instalace, vytápění, silnoproud a slaboproud, ostatní konstrukce, podlahy, dokončovací a ostatní práce.

Trvání stavby je dáno technologickými lhůtami jako je vytvrzování betonu, možnost nátěrů podlah epoxidovými nátěry až po dosažení vlhkosti max. 4 % atd. Zkušený dodavatel dokáže koordinovat subdodavatele, tak aby možným překrytím termínů jednotlivých prací dosáhl co nejkratšího dodacího termínu. Současní investoři většinou tlačí právě na termíny. Důležité je také sladit stavební práce s dodávkami technologií, například dovést a usadit zdroje dříve než se začnou instalovat potrubí atd. Během stavby jsou realizovány kontrolní dny za účasti dodavatele, investora a v některých případech i subdodavatelů. V případě zjištění odchylek jsou navržena opatření na jejich odstranění. Dodavatel si musí zajistit od subdodavatelů např. délky záručních dob tak, aby mohl garantovat požadovanou záruku investorovi (např. o rok delší pokud převezme subdodávku a v rámci stavby ji předá investorovi o rok později). V případě, že zajištění kolaudace je rovněž na dodavateli je dobré průběžně komunikovat se stavebním úřadem rozsah a úroveň podkladů pro zdárnou kolaudaci.

6. Dokončení díla, zkoušky, předání a vyhodnocení

Projekt takového rozsahu jako je náš nelze přebírat v jednom termínu při jeho ukončení jako např. rodinný domek. Od počátku musí být nastaveny milníky a jednotlivé etapy projektu jsou přebírány postupně. Pro každou etapu je stanoven způsob ověření (zkouška, přejímka, měření autorizovanou osobou atd.) a druh zápisu nebo protokolu.

Ukončení díla je možno definovat jako proces, který zahrnuje soubor předem stanovených činností, tedy plán kvality.

6.1. Druhy a typy zkoušek

Při realizaci díla realizujeme průběžně a dílčí přejímky jak u technologií, tak u stavby. Obdobně jak o u termínů dodavatel má zpracován plán zkoušek, který vychází z plánu kvality projektu investora, ale může být obsáhlejší než požadavky investora (odvislé od druhu a rozsahu subdodávek). Patří sem např. **zkouška kvality na staveništi**, kde se během stavby kontroluje celá řada parametrů (potrubí a el. vedení před záhozem, hutnění, únosnost betonu, rovinnost, vodotěsnost kanalizace, tlakové zkoušky potrubí atd. Některé jsou dohodnuty a některé vychází z platných norem (většinou ČSN).

U technologií se provádí **inspekce u výrobce**, kde dodavatel za účasti vlastníka jsou přítomni např. zkouškám těsnosti, tlakovým zkouškám, kontrole vyvážení rotačních částí, funkčním testům aj. Mohou také probíhat měření hluku, vibrací, ale i kontroly nátěru atd.

Po montáži zařízení se realizují tzv. **funkční zkoušky**, kdy se realizují zkoušky, které byly dohodnuty ve smlouvě. Mimo to, že dodavatel předloží k zařízení platnou revizi nebo certifikát probíhá ještě **tzv. individuální zkouška** (individual test), jedná se o ucelenou část technologie stavby (např. tlaková zkouška potrubí či zkouška těsnosti), která je odzkoušena po jednotlivých uzlech. Pokud dopadnou všechny individuální zkoušky bez závad lze přistoupit ke **komplexní zkoušce (funkcional test)**. Tady se provádí testování celého zařízení nebo i několika zařízení najednou (např. výrobní linka, nebo v našem případě více kogeneračních jednotek současně) s cílem ověřit předepsané parametry jako najetí na plný výkon aj. Po provedení těchto zkoušek dochází někdy k předběžnému převzetí a podpisu dokumentu, kterému se říká PAC (partial acceptance certificate).

Někdy je dohodnuto, že převzetí bude předcházet ještě tzv. **garanční test** (guarantee tests), při o něm si ověříme procesní vlastnosti jako spotřebu paliva, emise, hluk či vibrace. Měření obvykle provádí autorizovaná osoba nebo společnost.

Po ukončení garančních zkoušek podepisuje vlastník s dodavatelem finální protokol tzv. FAC (final akceptante certificate).

6.2. Předání a vyhodnocení

Po ukončení dohodnutých zkoušek převezme vlastník investor dílo od dodavatele. Dílo přejde do vlastnictví investora a proces výstavby je ukončen. Zkoušky je nutno sjednat ve smlouvě, protože stavební zákon je nepředepisuje. Stavební úřad na základě výzvy stavebníka svolá kolaudační řízení a po udělení kolaudačního souhlasu je možno zařízení uvést do trvalého užívání. U technologických staveb jako je naše se na konci výstavby po splnění předepsaných náležitostí se realizuje v souladu se stavebním zákonem tzv. **zkušební provoz**. Během tohoto období lze provozovat zařízení na plný výkon a realizovat prodej tepla i elektrické energie. Obvykle je délka tohoto zkušební provozu 6 až 12 měsíců před jeho koncem se obvykle požádá o **kolaudační souhlas**.

Typy zkoušek uvedené v předchozí kapitole se realizují v souladu s plánem projektu a nesouvisí s termínem zkušební provozu. Některé zkoušky mohou být dohodnuty i na tento termín např. měření emisí, hluku, vibrací atd.

Při kolaudaci zkoumá stavební úřad mimo jiné zda byla stavba postavena dle jím ověřené dokumentace, pokud tedy došlo k podstatné změně stavby musí se před jejím dokončením požádat stavební úřad o povolení změny stavby. Součástí žádosti je i dokumentace popisující změnu.

Pokud dojde během realizace díla ke změnám díla jen oproti prováděcí dokumentaci Detail Design (ale nemají vliv na Basic Design), požaduje investor po dodavateli **dokumentaci skutečného provedení** (As-build documentation). Vzhledem k tomu, že dílo je v záruce a tato dokumentace je nezbytná jak pro provoz a údržbu, tak i pro zajištění záručních oprav je její vytvoření důležité i pro dodavatele. Při předání díla předává dodavatel vlastníkově všechna prohlášení o shodě, návody k obsluze, revize, dílčí akceptační protokoly, inspekční zprávy a další dokumenty potřebné ke kolaudaci. Ponechá si však dokumenty (záruční listy na subdodávky aj.) aby mohl plnit předepsaný záruční servis.

V mnoha případech si investor uzavře s dodavatelem **servisní smlouvu**, kde jsou garantovány termíny nástupu na opravu a termíny na odstranění závad po dobu záruky.

Po předání díla vlastníkově, probíhá finanční vyrovnání. V některých případech si vlastník ponechá po dobu záruky část platby jako zádržné na realizaci záručních oprav (obvykle cca do 5% z ceny díla) čímž se i chrání proti případnému krachu dodavatele. Je nutno si to však dohodnout ve smlouvě. Dodavatel si provede svoje vyhodnocení díla zejména finanční (kolik mu akce vynesla a zda mu hrozí nějaké výdaje během záruky), ale i další (zkušenosti se subdodavateli atd.). Definitivně a přesně může však akci vyhodnotit až na záruky.

Vyhodnocení probíhá i na straně vlastníka, který řeší zejména otázku dosažení plánovaných přínosů a současně **vyhodnocuje poznatky z průběhu projektu** aby se neopakovali při dalším projektu (probíhá ve všech oblastech - zkušenost s dodavateli, ze schvalovacího procesu, řízení kvality atd.). Tomuto období se říká **poprojektová fáze** a vzhledem k tomu, že některé projekty lze konečně vyhodnotit až po uplynutí určité doby je i její délka plánována ve vazbě na druh projektu. Je tedy patrné, že projekt bude ukončen později než proces výstavby.

Závěr

Cílem diplomové práce, bylo podrobněji popsat aspekty projektového řízení investičního projektu, jímž je výstavba nové teplárny. V úvodu práce je obecně definováno Projektové řízení jako takové. Byly nastíněny některé moderní a ve světě používané postupy a standardy projektového řízení. V práci byl popsán náš projekt, rozdělený na tři základní etapy a to na fázi předprojektovou, projektovou a poprojektovou.

V předprojektové fázi a částečně ve fázi projektové bylo na práci pohlíženo z pozice investora. Cílem investora je zhodnotit své volné finanční prostředky s co možná nejvyšším ziskem a co možná nejnižšími riziky investice v co nejkratším čase. V praxi se však vždy jedná o kompromis mezi těmito veličinami. Prostředek k tomuto cíli je investiční projekt. Náš investiční projekt se týká výstavby nové Teplárny o výkonu 40 MW. V rámci předprojektové fáze byla v koncepční studii podrobněji rozvedena předprojektová úvaha o návrhu a výběru nejlepší varianty řešení.

Ze zadaných a obecně platných parametrů (Popis lokality, ceny energií, bilance spotřeby tepla apod.) byly navrženy dvě koncepční varianty. A to Varianta A – Soustava pístových kogeneračních jednotek a Varianta B – Paroplynová teplárna. U obou variant byly obecně popsány hlavní použité technologie. U každé z variant byly konkretizován výběr tepelného motoru. U Varianty A to je šestnáctiválcová kogenerační jednotka TCG 2032 od německé firmy MWM, která je nejbližším kvalitním výrobcem jednotek o dostatečně velkém výkonu. Jednotky od české firmy Tedom nejsou vyráběny v dostatečném výkonu. Jednotka TCG 2032 V16 byla firmou MWM v nedávné době optimalizována. Po optimalizaci typu jednotky narostly její účinnosti a tedy i výkon na 4,3 MW, současně však byla prodloužena životnost jednotky na 80 000 provozních hodin. Z informací od výrobce bylo navrženo koncepční bilanční schéma.

U Varianty B byla vybrána Plynová turbína o jmenovitém výkonu 31,21MW od firmy Siemens typu SGT-700. Dále Parní turbína SST-150 taktéž od firmy Siemens. Z bilančního návrhu kombinovaného paroplynového cyklu při zadaných tepelných odběrech 40 MW byl navržen jmenovitý výkon Parní turbíny 10,6 MW. U této varianty byly podrobněji propočítány výkony a účinnosti nejen při jmenovitém výkonu, ale i při regulovaném odběru tepla nižším, než je jmenovitý výkon. Výsledky prokázaly předpoklad, že PPC je navržen na pokrytí základního zatížení a jakékoliv výkyvy rapidně snižují elektrickou účinnost.

U obou variant byla provedena ekonomická analýza. Pomocí Programu Efekt 3.0 byl vytvořen ekonomický model každé z variant a pomocí obecně používaných ziskových kritérií vyhodnocena rentabilita každé z nich.

V závěru koncepční studie byly vzájemně porovnány obě varianty jak ekonomického, tak z technologického hlediska a vybrána vhodnější varianta. K realizaci byla doporučena Varianta A – Soustava pístových kogeneračních jednotek.

Po rozhodnutí investora o realizaci projektu, na základě výsledků koncepční studie, začala další fáze projektu - projektová fáze. V této fázi dochází k sestavení projektového týmu a ke vzniku zakládací listiny projektu. Po zahájení projektu následuje etapa plánování ve všech oblastech a mimo jiné i zpracování řídicí harmonogram realizace projektu. V něm jsou zaneseny hlavní činnosti s termíny (milníky) od zahájení do ukončení projektu (tvorba dokumentace, povolovací řízení, realizace, kolaudace atd.). Z koncepční studie investora vyplynuly požadavky, které musí nový Zdroj splňovat. Dalším stupněm zpracování dokumentace je provedení Basic Designu – Dokumentace souborného řešení, který je nutný mim jiné, jako podklad k získání Stavebního povolení. Doplněný BD o výkaz a výměr, slouží

jako podklad pro zpracování projektu na výběr generálního dodavatele. Po výběru generálního dodavatele probíhá uzavření smlouvy, kterým přenáší vlastník odpovědnost za realizaci další etapy, kterou je výstavba. Od této chvíle je na projekt pohlíženo z pozice generálního dodavatele, který je zároveň zhotovitelem díla.

Vstupním zadáním pro zhotovitele jsou podmínky dané smlouvou. Během realizace projektu se zhotovitel snaží eliminovat různá rizika a případně využít příležitostí ke zvýšení svého zisku. Musí však zachovat kvalitu a termíny dodávky, které hlídá investor. Zde jako v každém projektu platí známy trojimperativ (tedy dosažení stanovené kvality ve vymezeném čase s použitím přidělených zdrojů). U daného projektu vzhledem k jeho rozsahu se na realizaci bude podílet velké množství subdodavatelů, na které se generální dodavatel pokusí přenést část svých rizik (dobře uzavřenými kontrakty).

Důležité je splnění milníků daných investorem, k čemuž vede kvalitní řízení výstavby při využití moderních nástrojů projektového řízení. Jedná se zejména o splnění všech předepsaných zkoušek a úspěšné předání díla vlastníkovvi. Po ukončení výstavby, následuje etapa vyhodnocení projektu, což je nedílná součást poprojektové fáze.

Lze konstatovat, že využití projektového řízení dnes umožňuje realizovat i díla velkého rozsahu efektivněji, levněji a rychleji, než v minulosti. Přesto, že každý projekt je jedinečný, znalost projektového řízení umožňuje manažerům, zvládat nové i nečekané situace při realizaci projektu. Dokonalé zvládnutí projektového řízení přinese úspěch projektového týmu, bez ohledu na to, jestli realizuje projekt na pozici investora nebo zhotovitele.

Energetické zdroje a Projektové řízení mají jednu hlavní společnou vlastnost. V budoucnu se jejich využití bude neustále rozšiřovat.

Použité zdroje informací:

- [1] ROUŠAR, I., Projektové řízení technologických staveb, Grada Publishing, Praha 2008, ISBN 978-80-247-2602-1
- [2] KADRNOŽKA, J., OCHRANA, L. Teplárenství, CERM Brno, prosinec 2001, ISBN 80-7204-222-X
- [3] Zpráva o pokroku v oblasti kombinované výroby elektřiny a tepla v České republice podle Směrnice 2004/8/ES; Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR; Praha, únor 2007
- [4] DVORSKÝ, Emil; HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. 1.vydání. Praha : BEN-tech. literatura, 2005. 288 s. ISBN 80-7300-118-7.
- [5] PAVELEK, M., Termomechanika, CERM Brno, prosinec 2003, ISBN 80-214-2409-5
- [6] VÍŠKOVÁ, J. Výtopna Mydlovary. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 35 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.
- [7] Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2011 ze dne 23. listopadu 2011, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů
- [8] <http://www.mwm.net/en/products/gas-engines-power-generators/tcg-2032/>

Webové zdroje obrázků

- [9] <http://kogenerace.tedom.com/zarizeni-pro-upravu-bioplynu.html>
- [10] <http://www.pxe.cz/Kurzovni-Listek/Oficialni-KL/>

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
BD		Basic Design
DD		Detail Design
E	[W]	Elektrická energie
ERÚ		Energetický regulační úřad
e	[-]	Teplárenský modul
hod.		Hodin
CZT		Centrální zásobování teplem
CHM		Chlazení motoru
CHO		Chlazení oleje
KJ		Kogenerační jednotka
KVET		Kombinovanou výrobu elektrické a tepelné energie
Q_{pal}	[W]	Energie přivedená v palivu
SM		Spalovací motor
η_{tep}	[-]	Teplárenská účinnost
η_t	[-]	Účinnost tepelného stroje
$\dot{m}_{pal}$	[-]	Hmotnostní průtok paliva
$\dot{m}_{pal.j.}$	[-]	Jmenovitý hmotnostní průtok paliva
VTL		Vysokotlaký
NV		Napájecí voda
RZV		Rychlozávěrný ventil
ČSN		Česká státní norma
IN		Investiční náklady
ŽP		Životní prostředí
MŽP		Ministerstvo Životního prostředí
DUR		Dokumentace pro územní rozhodnutí
DSP		Dokumentace pro stavební povolení
CF		Hotovostní tok (cash-flow)
NPV		Čistá současná hodnota
IRR		Vnitřní výnosové procento
DN		Jmenovitý rozměr
PN		Tlaková třída
IP		Stupeň krytí
ÚŘ		Územní řízení
SP		Stavební povolení