



SNIŽOVÁNÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI V PROVOZU PLAVECKÝCH BAZÉNŮ

**Vydala: Česká energetická agentura
Vinohradská 8, 120 00 Praha 2**

Vypracoval: PROJEKTA spol. s r.o.

**Tato publikace je určena pro poradenskou činnost a byla zpracována
v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití
obnovitelných zdrojů energie**

OBSAH

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY	5
2. SPECIFIKACE PODMÍNEK PROVOZU KRYTÝCH PLAVECKÝCH BAZÉNŮ	6
2.1. Hygienické normy pro provoz bazénů	6
2.2. Energetické zabezpečení provozu bazénů	7
3. STÁVAJÍCÍ ZPŮSOBY ZABEZPEČENÍ ENERGETICKÝCH POTŘEB PLAVECKÝCH BAZÉNŮ	9
3.1. Teplo	9
3.1.1. Vytápění a větrání	9
3.1.2. Ohřevy vody	10
3.2. Elektrická energie	10
4. IDENTIFIKACE NEJČASTĚJŠÍCH STAVŮ NEHOSPODÁRNOSTI	12
4.1. Vytápění a větrání	12
4.2. Ohřevy vody	13
4.2.1. Doplnování vody do bazénu	13
4.2.2. Ztráta při recirkulaci a úpravě bazénové vody	13
4.2.3. Ztráta přestupem z bazénu do země pod bazénem nebo do stavebních konstrukcí	13
4.2.4. Teplá užitková voda pro očistné sprchování	13
4.2.5. Odpar vody z hladiny bazénu do ovzduší v hale	13
4.2.6. Výměna vody v bazénu při čištění	14
4.3. Osvětlení a pohony	14
4.3.1. Osvětlení	14
4.3.2. Pohony	14
5. MOŽNOSTI SNIŽOVÁNÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI PROVOZU BAZÉNŮ	17
5.1. Stavební opatření pro zlepšení tepelně-technických vlastností stavebních konstrukcí	17
5.1.1. Plochy konstrukcí	17
5.1.2. Zlepšení tepelně technických vlastností obvodových konstrukcí	17
5.1.3. Vodorovné průsvitné konstrukce	21
5.1.4. Svislé průsvitné konstrukce	24
5.1.5. Tepelné mosty	27
5.2. Rekuperace v systémech vzduchotechniky	27
5.3. Implementace tepelných čerpadel	29
5.4. Úsporné sprchy	33
5.5. Kombinovaná výroba tepla a elektřiny	33
5.6. Implementace solárních kolektorů	34
5.7. Pohony a osvětlení	35
6. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ RACIONALIZAČNÍCH OPATŘENÍ	39
6.1. Doporučené kritérium hodnocení	39
6.2. Citlivostní analýza	43
7. PŘÍPADOVÁ STUDIE ÚSPOR ENERGIE PLAVECKÝCH BAZÉNŮ	45



8. ZÁVĚR	48
LITERATURA	50



Zpracovatelé:

Doc.Ing. Roman Povýšil, Csc. – vedoucí projektu

Ing. Karel Fuka

Ing. Michal Doležal

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Účelem tohoto produktu ČEA je vymezit základní problémy spojené s efektivním zabezpečením energetických potřeb plaveckých bazénů.

Jedná se o objekty do značné míry odlišné od běžných nároků objektů nebo technologickou potřebu energie. Hlavním důvodem jsou hygienické předpisy a společenské zájmy spojené s jejich fungováním. Kryté bazény v převážné většině slouží široké veřejnosti za účelem sportovního vyžití a dále pak slouží k výuce plavání školní mládeže.

Z těchto důvodů je žádoucí zachovat přijatelné vstupné, které nebude odrazovat veřejnost od užívání těchto sportovišť.

Plné promítnutí skutečných nákladů do vstupného je proto společensky nežádoucí. Z těchto důvodů jsou kryté bazény 25 m a 50 m dotovány.

To však neznamená, že není nutné hledat cesty k úsporám. Je tomu přesně naopak, neboť rostoucí nároky na dotace by vedly k uzavírání těchto veřejně prospěšných zařízení.

Jednou z cest je hledání úspor ve spotřebě energie. Náklady spojené se zajištěním energetických potřeb jsou významnou položkou celkových nákladů a proto je třeba problematiku energetické náročnosti provozu plaveckých bazénů neustále analyzovat a hledat opatření vedoucí k jejich snižování nebo alespoň stagnaci.

Přijímaná opatření však rozhodně nemohou negativně ovlivňovat hygienické podmínky a tepelnou pohodu.

Vypracovaná studie si klade za cíl specifikovat hlavní okruhy energetické nehospodárnosti a možné cesty vedoucí k nápravě a k úsporám energie a finančních zdrojů.

2. SPECIFIKACE PODMÍNEK PROVOZU KRYTÝCH PLAVECKÝCH BAZÉNŮ

V České republice je provozována široká škála krytých plaveckých bazénů s celoročním provozem. Řada z těchto bazénů je vybudována jako součást multifunkčních objektů (škola, hotel apod.). Tyto bazény jsou vestavěny uvnitř objektu s částečným nebo úplným obestavěním prostorami jiného určení. Další bazény jsou vybudovány jako samostatné objekty, určené pouze k tomuto účelu.

Plavecké bazény s celoročním provozem jsou velkými spotřebiteli tepelné energie, a to jak pro ohřev bazénové vody, tak pro vytápění a zejména pro prostorové větrání bazénových hal nebo sálů. Vysokými spotřebami tepla se vyznačují zejména starší objekty volně stojících plaveckých bazénů, které vykazují vysoké spotřeby tepla pro krytí transmisních ztrát a ztrát tepla větráním (větrání zpravidla bez zpětného využití tepla větracího vzduchu rekuperací).

2.1. Hygienické normy pro provoz bazénů

Základní normou v této oblasti je „Směrnice pro zřizování a provoz bazénů s recirkulací vody“, vydané Ministerstvem zdravotnictví ČSR pod číslem 48 v roce 1978. V této směrnici jsou, mimo jiné, definovány požadavky na parametry prostředí, tj. zejména teploty vod, teploty a vlhkosti vzduchu, výměny vzduchu, atd. Níže uvádíme výpis základních požadavků uvedené směrnice, dotýkajících se hospodaření s tepelnou energií.

- ***Teploty vzduchu v bazénové hale a prostorách příslušenství dle § 8 odst. (3)***

Teplota vzduchu v bazénové hale musí být o 1 až 3°C vyšší než je teplota vody v bazénu. Ve sprchách má být teplota vzduchu v rozmezí 24 ÷ 27°C, v šatnách 20 ÷ 22°C a v ostatních prostorách asi 18°C (vstupní hala, komunikace apod.).

- ***Relativní vlhkost vzduchu dle § 8 odst. (6)***

Relativní vlhkost vzduchu v hale bazénu má být nejvýše 65 %, ve sprchách 85 % a v ostatních prostorách nejvýše 50 %.

- **Větrání dle § 8 odst. (5) a (7)**

Všechny prostory a místnosti objektu musí být větrány, a to zejména za účelem snižování relativní vlhkosti vzduchu. Požadavek na dostačující výměnu vzduchu je pro bazénovou halu dvojnásobná výměna za hodinu, pro sprchy osminásobná, v šatnách pěti – šestinásobná. V ostatních prostorách se počítá s výměnou vzduchu jedenkrát za hodinu.

- **Teplota vody v bazénu dle § 11 odst (1)**

Minimální teplota vody u krytých bazénů nesmí poklesnout pod 18°C. Za nejvhodnější teplotu vody v bazénech je doporučována teplota v rozmezí 24 ÷ 26°C. U dětských bazénů a brouzdališť je doporučována teplota vody do 28°C.

Voda musí být za provozu bazénu trvale recirkulována, čištěna a dezinfikována. Cirkulující voda je po úpravě před vrácením do bazénu dohřívána na teplotu v bazénu. Podle § 11 odst. (9) musí být vodní obsah bazénu ředěn přídavnou vodou v množství 30 l na jednoho návštěvníka. Pokud je tato voda přiváděna za provozu bazénu, je také předehřívána na teplotu bazénu. Podle odst. (10) uvedené směrnice má být bazén 2x do roka zcela vypuštěn, vyčištěn a vydezinfikován. Při novém napouštění bazénu je vodu opět nutno předehřívát.

2.2. Energetické zabezpečení provozu bazénů

Pro celoroční provoz krytých bazénů je nutná dodávka energie jak ve formě elektřiny, tak i tepla. Dodávkou tepla jsou hrazeny tepelné ztráty a udržována předepsaná tepelná pohoda.

Charakteristika spotřeb tepla:

- **Ztráty tepla objektu transmisí vč. infiltrace**

Vzhledem k trvalé relativně vysoké teplotě v prostoru bazénové haly (25 ÷ 27°C) a rovněž v prostorách příslušenství, dochází ke značným ztrátám tepla transmisí, ale i infiltrací. Relativně nízké jsou tyto ztráty u bazénů situovaných uvnitř a obestavěných z více nebo všech stran. Výrazně se však tyto ztráty projevují u samostatně stojících objektů bazénů zejména u těch, které mají vysoké procento zasklených ploch stěn. Týká se to hlavně

objektů ze staršího období, kdy při výstavbě nebyly používány stavební konstrukce s dostatečně dobrými tepelně- technickými vlastnostmi.

- ***Ztráty tepla větráním***

V prostoru haly bazénu, ale i některých prostorách příslušenství dochází k výraznému nasycování vzduchu odparem vody. Pro udržení předepsané relativní vlhkosti vzduchu je nutno uvedené prostory větrat. Podle hygienické směrnice by měla pro snížení vlhkosti vzduchu v bazénové hale postačovat dvojnásobná výměna za hodinu. Výměna vzduchu v prostorech sprch by měla být osminásobná, v šatnách pěti až šestinásobná. Vzduchotechnika, zabezpečující uvedené výměny vzduchu je výrazným spotřebičem tepla, a to zejména v případech, kdy není instalováno žádné zařízení pro rekuperaci tepla větracího vzduchu.

- ***Ztráty tepla ochlazováním bazénové vody***

Bazénová voda je ochlazována jednak přestupem tepla stěnami a dnem bazénu do země, dále odpařováním vody z hladiny bazénu (výparné teplo). K další ztrátě tepla dochází v procesu recirkulace a úpravy bazénové vody a při jejím ředění ve smyslu § 11 odst. (9) Směrnice č. 48. Jednorázová ztráta tepla o četnosti 2x za rok se projeví při úplném vypouštění bazénu za účelem jeho čištění a desinfekce.

3. STÁVAJÍCÍ ZPŮSOBY ZABEZPEČENÍ ENERGETICKÝCH POTŘEB PLAVECKÝCH BAZÉNŮ

3.1. Teplo

Značná část objektů samostatných plaveckých bazénů je vybavena vlastními zdroji tepla, část je připojena na systémy centrálního zásobování teplem. Plavecké bazény, situované uvnitř stavebních komplexů jsou zásobovány teplem zpravidla ze zdrojů těchto komplexů.

Součástí tepelného hospodářství objektů jsou strojovny vytápění, vzduchotechnické strojovny, výměňkové stanice a zařízení pro ohřevy vod v úpravnách recirkulační bazénové vody.

3.1.1. Vytápění a větrání

Bazénové komplexy (bazénová hala a příslušenství, tj. sprchy, sociální zařízení, šatny, komunikační plochy, občerstvení, správní plochy, apod.) jsou v převážné míře vytápěny kombinací teplovzdušného vytápění vzduchotechnickým zařízením a klasického vytápění tělesy. Teplonosnou látkou je v převážné míře topná voda teplá, horká voda nebo pára je někdy užívána v omezené míře pro vzduchotechnické účely a ohřevy vody. Bazénové haly jsou v převážné míře vytápěny teplovzdušně a vzduchotechnické zařízení plní současně úlohu vytápěcího a větracího zařízení, udržujícího nejen stálou teplotu, ale i stálou vlhkost vzduchu v bazénové hale. Ústřední vytápění v klasické formě je v bazénových halách instalováno zpravidla jen jako doplňková topná plocha, např. u prosklených venkovních stěn. Obdobně bývá řešeno i vytápění prostorů sprch sociálního zařízení a šaten. Ostatní zbývající plochy, tvořící malou část komplexu, bývají vybaveny teplovodní soustavou s topnými tělesy. Pro zvláštní účely jako je osušování tělesné vlhkosti při odchodu ze sprch do šaten jsou užívány malé speciální teplovzdušná zařízení, vytápěná elektřinou, která samozřejmě částí své kapacity přispívají též k úhradě tepelných ztrát objektu.

3.1.2. Ohřevy vody

V provozu plaveckého bazénu je celoročně prováděn ohřev vody bazénové, dále ohřev vody pro účely očistného sprchování a úklid.

Tepelné ztráty bazénové vody obsahují ztrátu přestupu z bazénu do země nebo konstrukcí, ztráty přestupem v zařízení pro cirkulaci a úpravu vody, ztrátu tepla odparem vody z hladiny bazénu (výparné teplo vody). Další spotřebou je teplo pro ohřev ředící vody, doplňované podle hygienického předpisu do bazénu v závislosti na počtu návštěvníků (30 l/osoba), a to buď průběžně nebo jednorázově po ukončení denního provozu.

Další významnou spotřebu tepla tvoří ohřev teplé užitkové vody pro očistné sprchy, kterými prochází každý návštěvník k bazénu jednak na přístupu ze šatny k bazénu, jednak při odchodu z bazénu do šaten.

Ohřev bazénové vody je prováděn výměníky tepla, zařazenými do recirkulačního okruhu, ohřev přídatné ředící vody a vody pro očistné sprchy je prováděn zpravidla samostatným systémem výměníků, u ohřevu teplé vody pro sprchy doplněným někdy akumulací.

3.2. Elektrická energie

Elektrická energie je významnou složkou energetické bilance plaveckých bazénů.

Elektrická energie je v převážné většině odebírána ze rozvodné sítě energetických společností, v menší pak z vlastního kogeneračního zdroje.

Odběr elektřiny se většinou realizuje v tarifních sazbách B3 až B5.

V případě, že je bazén součástí sportovního komplexu může být odběr realizován v tarifní skupině B2.

Tato forma energie je spotřebována především pro účely osvětlení a pro pohony v systému cirkulace vody a otopném systému a ventilátorů vzduchotechniky.

Z hlediska nároků na potřeby el. příkon jsou vyšší u pohonů než u osvětlení. Jestliže špičkové zatížení, např. činí 110 kW, pak 65 – 50 % je vyvoláno potřebou

elektromotorů, 20 – 30 % potřebou osvětlení a zbytek 15 – 20 % je vyvolán ostatní spotřebou.

Z tohoto hlediska je třeba i přijímat opatření k úsporám energie.

Většina osvětlovacích soustav je zastaralá, stejně tak čerpadla a ventilátory, neboť jsou v původním stavu kdy předmětná zařízení byla zprovozněna.

Často chybí implementace moderních svítidel a elektromotorů s regulací.

4. IDENTIFIKACE NEJČASTĚJŠÍCH STAVŮ NEHOSPODÁRNOSTI

4.1. Vytápění a větrání

Vytápěcím zařízením je zajišťována předepsaná tepelná pohoda v bazénové hale a příslušenství. Jako vytápěcí zařízení je v zásadě instalováno kombinované zařízení, složené hlavně ze vzduchotechniky a v malé míře z klasického vytápění teplovodními tělesy. Vytápěcím zařízením jsou uhrazovány tepelné ztráty objektu transmisí a infiltrací a tepelné ztráty předepsanou výměnou vzduchu dle hygienického předpisu.

Většina plaveckých bazénů byla vybudována před mnoha lety a konstrukční řešení pláště a střechy odpovídá zvyklostem z té doby. Pokud nedošlo v poslední době k některým rekonstrukcím tak starší konstrukce neodpovídají dnešním požadavkům na tepelně-technické vlastnosti budov. Haly bazénů vykazují relativně vysoké potřeby tepla pro uhrazení transmisních ztrát a ztrát infiltrací, což je především dáno stářím budov.

Pro snížení uvedených ztrát by bylo třeba zlepšit tepelnou odolnost pláště a střechy budovy přídatnou tepelnou izolací, snížit procento zasklených ploch, utěsnit spáry pro snížení infiltrace apod.

Vzhledem k tomu, že předepsané teploty v prostorech bazénu a některého příslušenství (sprchy) jsou vysoké (v rozmezí 25÷27°C) a vytápěcí soustava je provozována po převážnou část roku, jsou roční spotřeby tepla pro vytápění vysoké.

Větrací zařízení musí dle hygienického předpisu zabezpečit přijatelné prostředí v celém období provozu bazénu. Je předepsána minimálně dvojnásobná výměna vzduchu v bazénové hale, a to za účelem odvodu vlhkého vzduchu, nasyceného z hladiny bazénu a povrchu osob (teplota prům. 27°C, max. vlhkost 65 %), dále za účelem snížení obsahu chloru v ovzduší, zejména u vodní hladiny, kde se zbytkový chlor uvolňuje z vody.

Větrací vzduch o teplotě do 27°C a vlhkosti 65 % je u většiny bazénů odváděn do ovzduší bez využití tepla v něm obsaženého jakýmkoliv rekuperačním zařízením. Dochází tím ke značné ztrátě tepla, kterou lze výrazně snížit (min. o 60 %) řadou

zařízení, které je pro tyto účely dnes k dispozici. Z hlediska úsporného provozu bazénů by bylo vhodné veškeré bazény vybavit zařízením pro rekuperaci tepla větracího vzduchu.

4.2. Ohřevy vody

4.2.1. Doplnování vody do bazénu

Hygienickým předpisem je určeno doplňování bazénu čerstvou vodou v množství 30 l/os. v závislosti na počtu návštěvníků. Tuto vodu je třeba ohřívat na teplotu vody bazénové (24 ÷ 26°C).

O něco málo nižší množství bazénové vody odtéká při teplotě 26°C při doplňování z bazénu, malá část se odpaří do ovzduší.

Odtokem teplé vody z bazénu dochází ke ztrátě tepla, pokud by nebylo instalováno žádné zařízení pro částečné využití tepla odpouštěné vody.

4.2.2. Ztráta při recirkulaci a úpravě bazénové vody

Při recirkulaci bazénové vody přes úpravnu dochází ke ztrátě tepla bazénové vody, která však není výrazná. Voda je před vrácením do bazénu dohřívána.

4.2.3. Ztráta přestupem z bazénu do země pod bazénem nebo do stavebních konstrukcí

Tato ztráta je nízká a u stávajících bazénů nelze prakticky této ztrátě ani částečně zamezit.

4.2.4. Teplá užitková voda pro očistné sprchování

Spotřeba teplé užitkové vody o teplotě 40 ÷ 45°C pro očistné sprchování návštěvníků je relativně vysoká (ø 20 l/os.). Voda je dnes vypouštěna do kanalizace bez využití jejího tepla.

4.2.5. Odpar vody z hladiny bazénu do ovzduší v hale

Při provozu bazénu dochází k odpařování vody z hladiny bazénu. Množství odpařené vody se pohybuje cca od 150 ÷ 200 g/m² . h. Výparné teplo vody je odebíráno především z bazénové vody. Za provozu bazénu nelze tomuto jevu zabránit, lze však

zamezit vypařování vody v mimoprovozní době (přes noc) například natažením folie na vodní hladinu.

4.2.6. Výměna vody v bazénu při čištění

Je předepsáno vypuštění a vyčištění bazénu 2x za rok. Při tom je nutno vodu úplně vypustit a opět s ohřevem bazén naplnit. Toto nárazové teplo, obsažené v bazénové vodě je prakticky nevyužitelné a tvoří tedy nezbytnou ztrátu.

4.3. Osvětlení a pohony

4.3.1. Osvětlení

Vybavení plaveckých areálů osvětlovacím zařízením odpovídá podmínkám projektového řešení z doby realizace a možnostech modernizačních úprav. Nejrozšířenějším světelným zdrojem jsou zářivky a výbojky. V menší míře se používají klasické žárovky. Předradníky výbojových zdrojů jsou vesměs vybaveny indukční tlumivkou.

Svítilidla jsou v různorodém provedení. U zářivkových svítidel převažuje provedení dvouzdrojové cloněné se stínidlem. Obdobně je tomu u výbojkových svítidel.

Provedení osvětlovacích soustav jsou většinou kombinovaná. Celkové osvětlení je řešeno podle požadavků osvětlenosti v rozmezí 200 – 500 luxů.

Za nejčastější nedostatky lze považovat:

- ruční řízení osvětlení,
- jsou provozována zařízení zastaralá s funkčně nevhodnými parametry,
- údržba je opomíjena a prováděna nekvalifikovaně.

4.3.2. Pohony

Hlavní součástí elektrických pohonů je elektromotor. Pohony se rozdělují podle toho jaký elektromotor je využíván na

pohony stejnosměrné

pohony střídavé

Z hlediska regulace se dále dělí na

regulované a neregulované

Stávající pohony plaveckých areálů jsou vybaveny převážně asynchronními motory bez regulace.

Takovéto elektrické pohony pro efektivní chod vyžadují, aby byly zatěžovány v rozsahu 85 až 95 % jmenovitelka výkonu. V této oblasti je křivka účinnosti v závislosti na výkonu plochá a hodnota účinnosti se příliš neliší od maxima.

Účinnost se však značně snižuje pokud motory běží odlehčeně nebo pracují v přechodových režimech. Tyto stavy jsou právě značně četné a nepříznivě takto ovlivňují energetickou spotřebu.

Dále k tomu přistupuje i fakt, že instalované elektromotory jsou předimenzovány.

Rovněž ztrátová regulace, ať již je realizovaná na straně poháněného mechanismu, či na straně motoru, bilanci energetických ztrát ještě zhoršuje.

Právě tento proces regulace je typický u pohonů větracích jednotek a čerpadel nainstalovaných v systému plaveckých bazénů, kde se nejčastěji regulují nevhodně výstupní parametry (tlak, průtokové množství) škrcením.

Uvážíme-li, že např. výkon je přímoúměrný množství dopravované kapaliny a že pro docílení např. 50 % množství připravované kapaliny škrcením klesá účinnost na hodnotu 70 %, jedná se o značně nevhodný způsob regulace. Proto je žádoucí přejít na pohony regulované disponující regulací otáček na bázi frekvenčních měničů.

Pro ilustraci výhodnosti této regulace uvedeme fakt, že regulací otáček čerpadla se dosáhne 50 % tohoto množství při 0,5 jmenovitých otáček a příkonu $0,5^3 P_n = 0,125 P_n$ za předpokladu, že bude akceptovatelný pokles výstupního tlaku na hodnotu 0,25 původního.

Regulací otáčkami tedy lze získat $0,875 P_n$. Při regulaci škrcením pak dochází ke snížení příkonu takto:

$$k \cdot H_n \cdot Q_n = P_n$$

pro $Q = 0,5 Q_n$, $H = 1,2 H_n$ a $\eta = 0,7$ pak

$$P = k \cdot Q \cdot H = 1,2 \cdot 0,5 / 0,7 P_n = 0,86 P_n$$

Výsledné snížení příkonu

$$\Delta P = 0,875 P_n - (1 - 0,86) P_n = 0,73 P_n$$

Tento velmi hrubý výpočet úspor platí rovněž i u ventilátorů.

Kromě úspor regulací je třeba se zaměřit i na eliminaci elektromotorů málo účinných zastaralé konstrukce.

5. MOŽNOSTI SNIŽOVÁNÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI PROVOZU BAZÉNŮ

5.1. Stavební opatření pro zlepšení tepelně-technických vlastností stavebních konstrukcí

Bazény, resp. bazénové haly se řadí z hlediska návrhu, resp. následné realizace a provozu k nejnáročnějším stavebním objektům. Proto by návrh nebo úprava stávajících konstrukcí měl provádět specialista z oblasti stavebně tepelné techniky a zkušenostmi s návrhem konstrukcí do vlhkého prostředí.

Současný stav bazénových hal je poměrně různorodý. Jsou objekty, které prošly rozsáhlou rekonstrukcí (např. Praha – Podolí) nebo jsou objekty provozovány v provedení, ve kterém byly realizovány před několika i desítkami let, tzn. že konstrukce většinou nevyhovují v současné době požadovaným parametrům tepelné ochrany.

5.1.1. Plochy konstrukcí

V plošném zastoupení jednotlivých konstrukcí se kromě střešního pláště většinou rozhodujícím způsobem uplatňuje zasklení bazénové haly, která bývá prosklená z jedné, většinou ze dvou a v některých případech i ze tří stran, což vede k vysoké energetické náročnosti.

Jednou z možností jak snížit energetickou náročnost haly je snížení plochy zasklení. Jsou-li např. zaskleny dvě strany, nahradíme zasklení jedné stany plnou stěnou s odpovídajícími tepelně technickými parametry. Doporučuje se, aby zasklená stěna byla orientována na jih, popř. na JV nebo JZ.

5.1.2. Zlepšení tepelně technických vlastností obvodových konstrukcí

Podmínky návrhu

Z hlediska správného návrhu konstrukcí je rozhodující určení odpovídajících hodnot okrajových podmínek, tj. vnitřní teploty vzduchu (t_i) a vnitřní relativní vlhkosti vzduchu (φ_i).

Např. hygienický předpis č. 48 (Svazek 41 z r. 1978) uvádí vnitřní teplotu vzduchu v rozmezí $t_i = 25$ až 31°C , resp. 29 až 31°C (dětské bazény) (o $1-3^\circ\text{C}$ nad teplotu vody v bazénu, doporučená teplota vody v krytých i nekrytých bazénech je 24 až 26°C , v dětských bazénech a brouzdalištích 28°C) a vnitřní relativní vlhkost vzduchu $\varphi_i = 65 \%$ (při výměně vzduchu 2x za hodinu).

Při průzkumu několika desítek bazénových hal bylo zjištěno, že místní teplota vzduchu se pohybuje v rozmezí $t_i = 25$ až 30°C a vnitřní relativní vlhkost v rozmezí 70 až 95% . Ve většině případech byl provoz vzduchotechnického zařízení přerušovaný.

ČSN 06 0210 uvádí jako návrhové okrajové podmínky pro bazénové haly ve výši $t_i = 28^\circ\text{C}$ a $\varphi_i = 85 \%$ (bazénové haly pro dospělé), resp. $t_i = 30^\circ\text{C}$ a $\varphi_i = 80 \%$ (bazénové haly pro děti).

Požadované parametry konstrukce

Podle ČSN 73 0540 / 3 / se stěny, střechy, stropy a podlahy vytápěných nebo klimatizovaných budov s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i > 80 \%$ navrhují tak, aby jejich tepelný odpor splňoval podmínku:

$$R \geq R_N = \frac{ABS(t_i - t_e)}{q_k \cdot e_1 \cdot e_2 \cdot e_3} \quad (1)$$

kde t_i je výpočtová vnitřní teplota ve $^\circ\text{C}$;

t_e výpočtová venkovní teplota, ve $^\circ\text{C}$ ve smyslu ČSN 060 210;

q_k charakteristická hustota tepelného toku konstrukcí, ve $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$,

$q_k = 13 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ – doporučená hodnota;

$q_k = 19 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ – požadovaná hodnota;

$q_k = 30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ – přípustná hodnota pro rekonstrukce;

e_1 součinitel typu budovy,

$e_1 = 1,0$ pro budovy obytné a občanské s převážně dlouhodobým pobytem lidí (školské, zdravotnické, administrativní, veřejně správní a stravovací);

$e_1 = 1,2$ pro budovy občanské ostatní a pro budovy výrobní průmyslové po velmi lehkou práci;

$e_1 = 1,5$ pro budovy výrobní průmyslové pro středně těžkou a těžkou práci, budovy zemědělské a ostatní;

e_2 součinitel typu konstrukce,

$e_2 = 2,0$ pro stěny mezi vnitřními prostory se shodným režimem regulace vytápění;

$e_2 = 1,0$ pro vnější stěny, střechy strmé se sklonem větším než 45° , vnitřní stropy, stěny mezi s vnitřními prostory s odlišným režimem regulace vytápění, konstrukce přilehlé k terénu;

$e_2 = 0,80$ pro střechy šikmé se sklonem do 5° do 45° včetně;

$e_2 = 0,67$ pro střechy ploché se sklonem do 5° včetně, stropy pod nevytápěným prostorem, podlahy nad nevytápěným prostorem;

e_3 součinitel tepelné akumulace konstrukce,

$e_3 = 1,0$ pro vnitřní konstrukce, pro vnější konstrukce s plošnou hmotností vnitřních vrstev, tj. všech vrstev od vnitřního líce k tepelně izolační vrstvě včetně, nad 100 kg/m^2 ;

$e_3 = 0,87$ pro vnější konstrukce s plošnou hmotností vnitřních vrstev do 100 kg/m^2

a zároveň podmínka pro bezpečné vyloučení povrchové kondenzace při zvýšené vlhkosti prostředí podle vztahu:

$$R \geq R_{W,N} = R_i \frac{t_a - t_e}{0,6(t_a - t_w)} - (R_i + R_e) \quad (2)$$

kde: $R_i = \frac{1}{\alpha_i}$

α_i – součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce, ve $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

$$R_e = \frac{1}{\alpha_e}$$

α_e – součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce, ve $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

t_a – výpočtová teplota vnitřního vzduchu, ve $^\circ\text{C}$

t_w – teplota rosného bodu, ve °C

t_e – výpočtová teplota vnějšího vzduchu, ve °C.

Podle vztahu (1) je R_N pro bazénové haly

$$\text{pro dospělé } R_N = \frac{ABS(28 + 15)}{30 \cdot 1 \cdot 0,67 \cdot 0,87} = 2,50 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\text{pro děti } R_N = \frac{ABS(30 + 15)}{30 \cdot 1,0,67,0,87} = 2,60 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Pozn: Hodnoty platí pro rekonstruovanou konstrukci (přípustná hodnota), střešní plášť s plošnou hmotností vnitřních vrstev do $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$.

Podle vztahu (2) je $R_{W,N}$ pro bazénové haly

$$\text{pro dospělé } R_{W,N} = 0,125 \frac{(28 + 15)}{0,6(28 - 25,2)} - (0,125 + 0,043) = 3,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\text{pro děti } R_{W,N} = 0,125 \frac{(30 + 15)}{0,6(30 - 26,2)} - (0,125 + 0,043) = 2,30 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

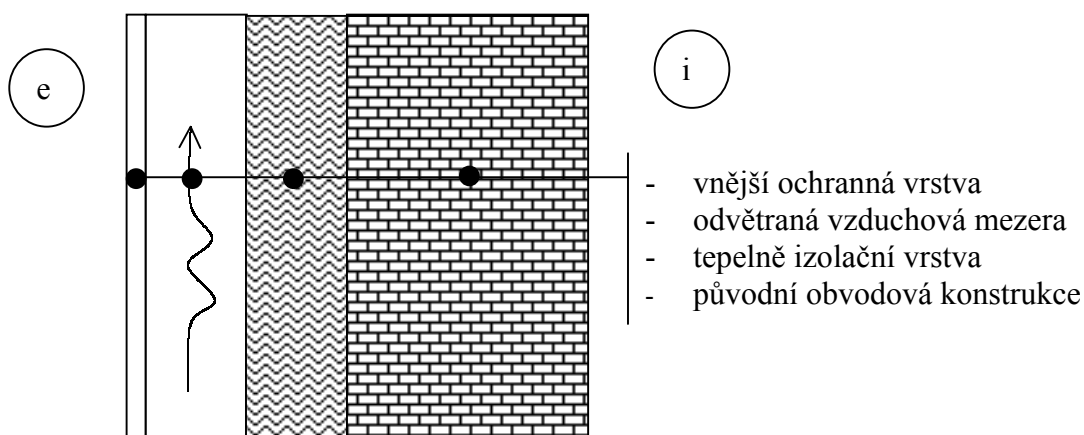
Při posouzení vždy musí být splněna vyšší hodnota R_N dle vztahu (1), resp. (2).

Svislé neprůsvitné konstrukce

Stávající provedení obvodových konstrukcí většinou nesplňuje požadované parametry a v důsledku snahy provozovatelů uspořit náklady na provoz je omezováno větrání, což vede k nárůstu vnitřní relativní vlhkosti vzduchu až na hodnoty $\varphi_i = 90$ až 95 %. Na takto vysoké vlhkostní namáhání tyto konstrukce nejsou navrženy a proto dochází u nich k postupné ztrátě mechanických a tepelně izolačních parametrů.

Chceme-li zlepšit tepelně izolační parametry obvodové konstrukce většinou přistoupíme k návrhu dodatečných tepelně izolačních vrstev (za předpokladu, že stávající konstrukce splňuje zejména statické parametry). Dodatečně tepelně izolační vrstvy navrhujeme zásadně z vnější strany a zpravidla ji řešíme jako dvouplášťovou konstrukci.

Obr. 1 Schéma vrstev dvouplášťové obvodové konstrukce



Pro tepelně izolační vrstvu jsou vhodné materiály na bázi minerálních a skelných vláken, které nebrání volné difúzi vodní páry do vnějšího prostředí (nedochází ke kondenzaci uvnitř konstrukce).

Vhodné je doplnit skladbu parotěsnou zábranu, kterou umístíme co nejbližší vnitřnímu líci. Správná funkce parozábrany je odvislá od správného návrhu styků a prostupů parozábranou a následně od dokonalého provedení.

Každý návrh je nutné podrobit důkladnému tepelně technickému hodnocení zejména z hlediska vlhkostní bilance.

5.1.3. Vodorovné průsvitné konstrukce

Provedení u vodorovné nosné konstrukce je dáno především provedením nosné konstrukce zastřešení. Jako nejvhodnější řešení se jeví opět dvouplášťové provedení. Důležitým parametrem návrhu je návrh odvětrání vzduchové mezery.

Plocha přiváděcích větracích otvorů se volí v rozmezí 1/100 až 1/400 plochy střechy v závislosti na sklonu vzduchové vrstvy, popř. i větší, plochu odváděcích větracích otvorů se oproti ploše přiváděcích otvorů zpravidla zvětšuje nejméně o 10 %.

Následující tabulka udává některá kritéria, která je nutné při návrhu dodržet.

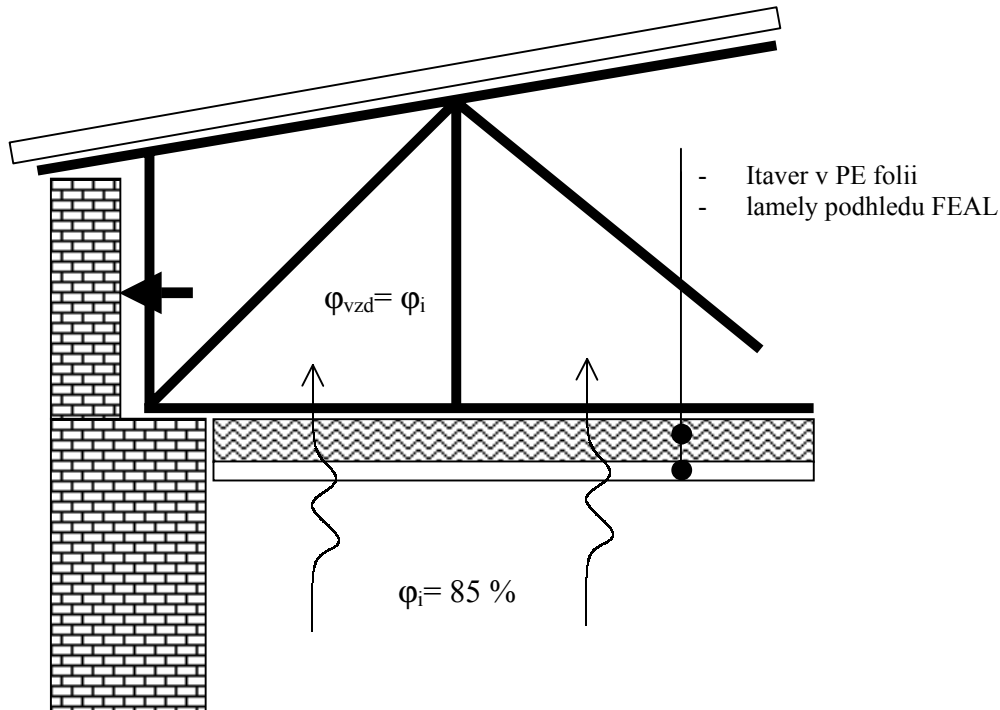
Doporučená dimenze větrání střech

Sklon vzduchové vrstvy	Nejmenší tloušťka větrané vzduchové vrstvy, určené pro odvod vodní páry difundující do střešní konstrukce, při délce vzduchové vrstvy do 10 m¹⁾ (mm)	Nejmenší tloušťka větrané vzduchové vrstvy, určené pro odvod vodní páry difundující do střešní konstrukce i k odvedení vody technologické a vody srážkové zabudované do konstrukce při realizaci, při délce vzduchové vrstvy do 10 m¹⁾ (mm)	Plocha přiváděcích větracích otvorů k ploše větrané střechy
< 5°	100	250	1/100
5° – 25°	60	150	1/200
25° – 45°	40	100	1/300
< 45°	40	50	1/400

¹⁾ Na každý 1 m délky vzduchové vrstvy přesahující 10 m se zvětšuje nejmenší tloušťka vzduchové vrstvy o 10 % připadající k nejmenší tloušťce a příslušného sklonu.

Podrobněji viz ČSN 73 1901 „Navrhování střech – základní ustanovení“/4 /.

Častým nedostatkem střešních pláštů bazénových hal bývá oblast atiky, resp. oblast obvodové konstrukce v úrovni střešních vazníků. Na spodním lici střešních vazníků bývá upevněn akustický lamelový podhled Feal se zvukově pohlcující rohoží Itaver v igelitových pytlich (viz obr. 2).

Obr.2 Schematický řez ukončení střešního pláště


Lamelový podhled nebrání pronikání vlhkosti do prostoru střešního vazníku, kde se vlhkost pohybuje na úrovni vlhkosti vnitřního vzduchu. Na tuto vlhkost není obvodová konstrukce nadimenzována a vykazuje tak řadu poruch.

Při rekonstrukcích střešních pláštíů je třeba důkladně posoudit stávající skladbu konstrukce zejména z hlediska vlhkostní bilance a posoudit existenci a funkčnost parotěsné zábrany, která buď není provedena vůbec nebo je narušena mnoha prostupy (osvětlení, vzduchotechnika, ...).

Velmi důležité je také posoudit stav tepelně izolačních vrstev, zejména z hlediska jejich praktické vlhkosti (vlhkost výrazným způsobem ovlivňuje tepelně izolační schopnosti většiny materiálů). Vhodné je provést odběr vzorků z této vrstvy. Zjištěná vysoká vlhkost je důkazem toho, že parotěsná zábrana neexistuje, resp. je nefunkční. Proto při návrhu je nutné navrhnout obnovu parotěsné zábrany, resp. zřízení parotěsné zábrany a navrhnout tepelně izolační vrstvy. Pro tepelně izolační vrstvy jsou vhodné materiály na bázi minerálních a skelných vláken. Pro parotěsné zábrany jsou vhodné zejména polyetylenové fólie (na trhu je celá řada výrobků, např. DELTA-FOL REFLEX, NICOBAR, JUTAFOL A, ...).

Při návrhu dvouplášťového provedení střešní konstrukce je vhodné dodržet doporučení o minimální velikosti tepelného odporu horního pláště ve výši $R = 0,2 \text{ m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ (viz /3/).

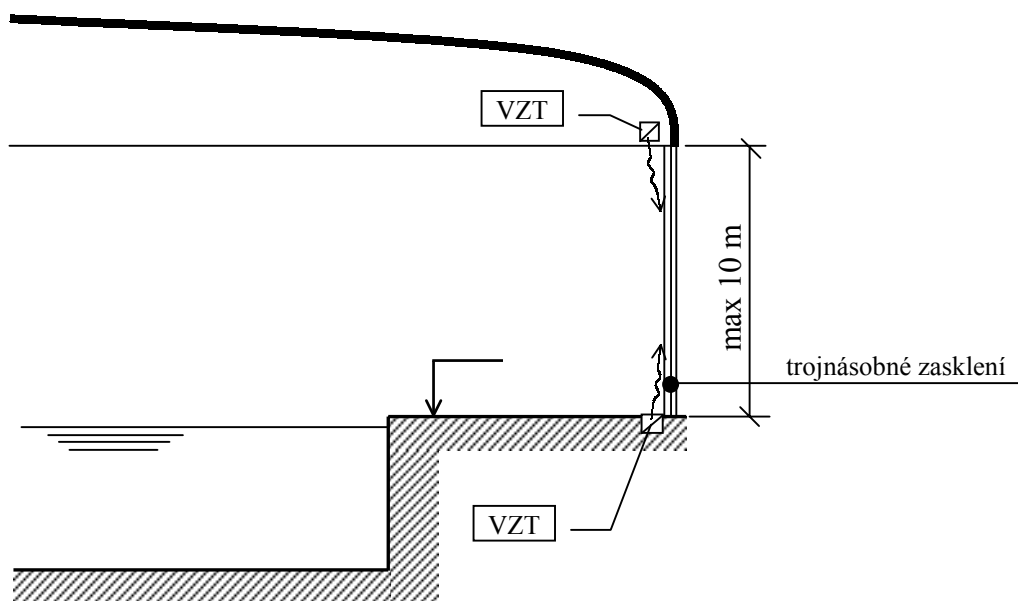
Z hlediska zlepšení provětrávání vzduchové mezery dvouplášťové střechy je vhodné navrhnout do hřebenu popř. do plochy mezi okapem a hřebenem ventilační turbíny poháněné prouděním větru (při malé tloušťce vzduchové mezery, resp. malém výškovém rozdílu mezi nasávacími a odváděcími otvory, apod.)

Každý návrh nové skladby je třeba podrobit kromě tepelně technického posouzení specialistou v obou stavebně tepelné techniky, důkladným statickým posouzením vlivu nové skladby střešního pláště na stávající nosnou konstrukci. Ve výpočtu je třeba popř. zohlednit pokles únosnosti nosné konstrukce střechy vlivem koroze, apod.

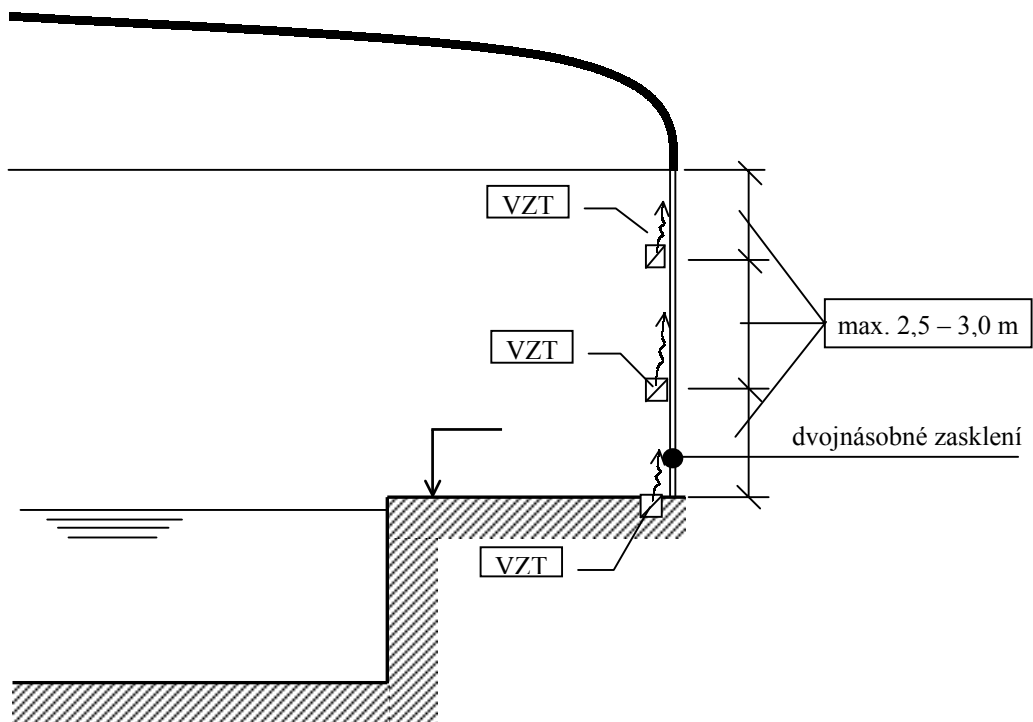
5.1.4. Svislé průsvitné konstrukce

Průsvitné stěny rozhodujícím způsobem ovlivňují energetickou bilanci bazénové haly. Předválečná řešení téměř důsledně dodržovala jednu stěnu orientovanou na jih. Bazénové haly z poválečného období do energetické krize (doba „energetického blahobytu“) jsou zpravidla bohatě proskleny (ze dvou někdy i tří stran). Zasklení je většinou minimálně dvojnásobné, někdy i trojnásobné. Největším nedostatkem bývá nosná konstrukce zasklení, která je provedena z ocelových Jäcklových uzavřených profilů. Tyto profily probíhají od vnějšího líce k vnitřnímu bez přerušení a tvoří tak výrazné tepelné mosty, na kterých dochází k rozsáhlé a vydatné povrchové kondenzaci vodní páry. Množství kondenzátu bývá tak velké, že dochází k jeho odkapávání do prostoru bazénové haly, resp. stékání a zatékání do konstrukce zasklení. Následkem bývá koroze nosné konstrukce zasklení a postupná ztráta její nosnosti. Z teploty rosného bodu ($t_s = 25,2^\circ\text{C}$, resp. $26,2^\circ\text{C}$) je patrné, že vnitřní teplota zasklení musí být vyšší než min. 25°C , resp. min. 26°C tak, aby nedocházelo k povrchové kondenzaci. Tento požadavek nelze samotnými konstrukčními úpravami bez doplňkových zdrojů energie splnit.

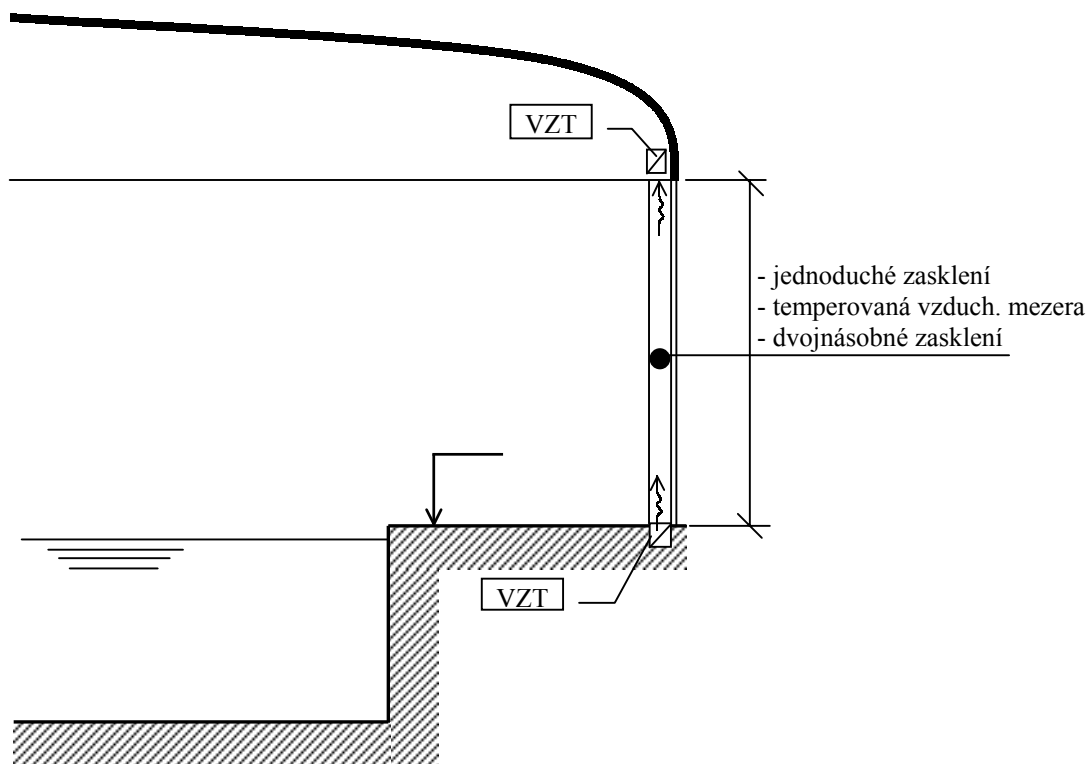
Řešení mohou být následující:



- 1) Trojnásobně zasklená stěna s teplovzdušnou clonou u paty a vrcholu.
- 2) Dvojnásobně zasklená stěna s výústky teplého vzduchu ve výšce po 2,5 až 3,0 m tak, aby se ochlazovaný proud teplého vzduchu neodtrhl od stěny a nepadal zpět do haly.



3) Trojnásobně zasklená stěna s temperovanou vnitřní vzduchovou mezerou, která působí jako vzduchovod.



Jako vhodné materiály pro nosnou konstrukci zasklení se jeví dřevo, plastové a hliníkové profily (vždy ale s přerušným tepelným mostem), pro vlastní zasklení izolační dvojskla, trojskla se zlepšenými parametry vzduchové mezery (např. inertní plyny, folie ...).

5.1.5. Tepelné mosty

Při řešení návaznosti jednotlivých konstrukcí stěna x střecha, stěna x zasklení, je třeba se vyvarovat vzniku tepelných mostů, které mohou být příčinou vzniku řady poruch a mívají většinou vliv na estetický vzhled konstrukce (zvýšené špinění, stékající kondenzát,) a v menší míře na energetickou bilanci (není-li počet tepelných mostů velký a nejsou-li výrazné).

Jeví-li se některý detail (styk) jako „problémový“ je vhodné provést jeho posouzení výpočtem dvou, tří – rozměrného teplotního a vlhkostního pole a tak posoudit nebezpečí kondenzace vodní páry jak na povrchu konstrukce, tak uvnitř konstrukce.

Správná funkce konstrukce je dána většinou správnou funkcí jednotlivých detailů a proto nepodceňujeme tyto „drobnosti“ (detaily), které však mohou mít zásadní význam pro funkci celé konstrukce.

Závěrem této kapitoly je nutné zdůraznit, že návrh dodatečných tepelných izolací, resp. nových konstrukcí bazénových hal, je třeba vždy podrobit důkladnému tepelně technickému posouzení a návrh svěřit specialistům z oblasti stavebně tepelné techniky (nejlépe se zkušenostmi s návrhem vlhkých staveb).

5.2. Rekuperace v systémech vzduchotechniky

Relativně jednoduchým zařízením je rekuperační zařízení tepla větracího vzduchu. Odváděný vzduch prochází do venkovního ovzduší přes rekuperátor (výměník), kde odevzdává větší část v něm obsaženého tepla čerstvému přiváděnému vzduchu, které je třeba samozřejmě ještě dohřát na konečnou teplotu. Max. úspora tepla rekuperační by neměla poklesnout pod 60 % původně spotřebovávaného množství tepla. Instalace

znamená ovšem rekonstrukci někdy i větší části vzduchotechnického zařízení (např. je-li přívod vzduchu a odvod na opačných stranách haly).

Jedná se tedy o nízkoteplotní aplikaci rekuperačních výměníků tepla. Jejich provedení může být různé. V zásadě by však navrhovaná racionalizační opatření měla vycházet z implementace těchto tří systémů rekuperačních zařízení:

- a) rotační rekuperátory,
- b) rekuperátory na bázi deskových výměníků,
- c) rekuperátory s tepelnými trubicemi.

Všechny tři typy je třeba doplnit ohřivačem, který předeheřtý vzduch dohřívá na potřebnou teplotu vhaněného vzduchu do vytápěného prostoru.

ad a) Rotační rekuperátory pracují na principu rotace hliníkového šterbinového rotoru, kde v horní části protéká ohřtý odsávaný vzduch a v dolní části prochází venkovní čerstvý vzduch.

Odsávaný teplý vzduch v laminárním proudění ve šterbinách předává teplo těmto šterbinám, které ohřtá přechází do dolní části, kde jsou ochlazovány vhaněným studeným vzduchem.

ad b) U tohoto druhu rekuperátorů se využívá deskový tepelný výměník, který je protiproudý. Přívod a odvod vzduchu je oddělený. Pod výměníkem je umístěna kondenzační vana, která je napojena na kanalizaci.

ad c) Tento typ rekuperátorů je lamelový skládající se z tepelných trubic naplněných snadno vařící kapalinou. Většinou se jedná o látky na bázi freonu.

Princip je ten, že teplý odsávaný vzduch ve spodní části uvádí kapalinu do varu a vznikající páry stoupají do horní části, kde proudící chladnější vzduch odebírá teplo těmto parám teplo, které v důsledku toho kondenzují a stékají do dolní části kde se opět odpařuje.

5.3. Implementace tepelných čerpadel

Jak bylo uvedeno v oddílech 4.2.1 a 4.2.4 za provozu bazénu odtéká teplá voda, a to jak z bazénu při jeho doplňování, tak při používání očišťovacích sprch návštěvníky. Jedná se o vodu o teplotě 26 a 35°C. Tuto odpadní oteplenou vodu, produkovanou celoročně, je možno svést do sběrného místa (nádrže) a použít jako zdroj odpadního tepla pro implementaci tepelného čerpadla. Dořešit je však nutno filtraci této vody před výparníkem tepelného čerpadla, aby nedocházelo k zanášení organickými zbytky.

Dříve než uvedeme příklad možného uplatnění tepelného čerpadla, zmíníme se o možnosti klasického přístupu využití zbytkového tepla odpadní vody na bázi rekuperace. Jako nadějný se jeví především využití rekuperace pro předehřev teplé užitkové vody.

V tomto případě se nabízejí dvě možnosti řešení, a to:

- a) předehřev vody teplem získaným z teplé odpadní vody a dohřev pomocí primárního topného média,
- b) předehřev teplem z teplé odpadní vody, další stupeň ohřevu vratným primárním médiem a ohřev primárním topným médiem.

Implementace tepelného čerpadla ve stávajícím systému plaveckého bazénu může být realizována v zásadě ve dvojitých provedeních:

- a) tepelné čerpadlo jako samostatný zdroj tepla využívající citelného tepla země, resp. okolního vzduchu,
- b) tepelné čerpadlo jako dodatekové zařízení sloužící k využití odpadního tepla vypouštěné oteplené vody a větracího vzduchu.

Efektivní aplikace tepelného čerpadla vždy vyžaduje splnění podmínky energetické efektivity, což znamená, aby spotřeba primární energie na pohon tepelného čerpadla byla nižší než nahrazovaná spotřeba energie v primárním palivu substituovaného tepelného zdroje.

Z hlediska energetické bilance to znamená, že pro tepelný výkon čerpadla platí:

$$P_{QTČ} = P_{QNZ}$$

Pro příkon tepelného čerpadla v primárním palivu pak platí:

$$P_{TČ} = \frac{P_{QTČ}}{t \cdot \eta_p}$$

kde t je tzv. topný faktor

η účinnost pohonu

Příkon nahrazovaného zdroje tepla je možné vyjádřit vztahem

$$P_{NZ} = \frac{P_{QNZ}}{\eta_{NZ}}$$

Z toho pak plyne, že topný faktor by měl splňovat podmínku

$$P_{TČ} < P_{NZ}, \text{ čili}$$

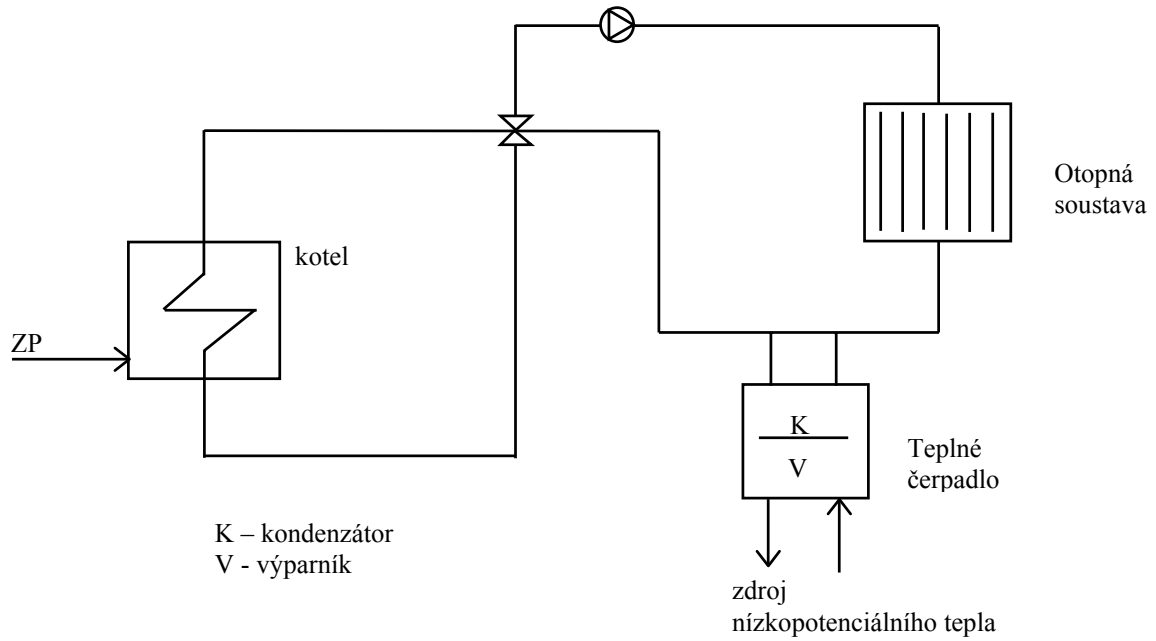
$$k_{\min} = \frac{\eta_{NZ}}{\eta_p}$$

Obecným požadavkem při implementaci tepelných čerpadel je požadavek dosažení topného faktoru minimálně ve výši 3.

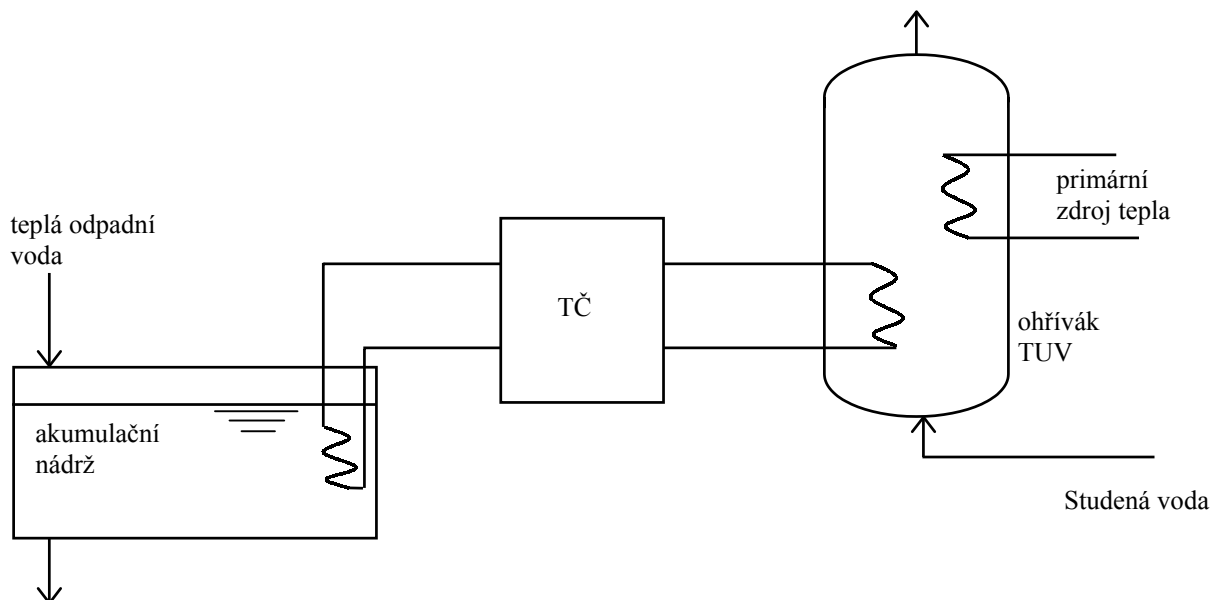
V praxi se energetické bilance tepelného čerpadla stanovuje tak, že do spotřeby energie se započte jednak spotřeba energie na pohon kompresoru jednak spotřeba energie čerpadla resp. ventilátoru podle typu TČ. Dále se změří množství kapaliny resp. vzduchu kondenzátorem a rozdíl teplot na vstupu a výstupu a stanoví se množství získaného tepla. Topný faktor se pak vypočte jako podíl vyrobeného tepla a spotřebované energie na příslušné pohony.

V následujících schématech jsou uvedeny příklady použití tepelného čerpadla pro přípravu TUV a jako bivalentní zdroj tepla pro vytápění s plynovým kotlem.

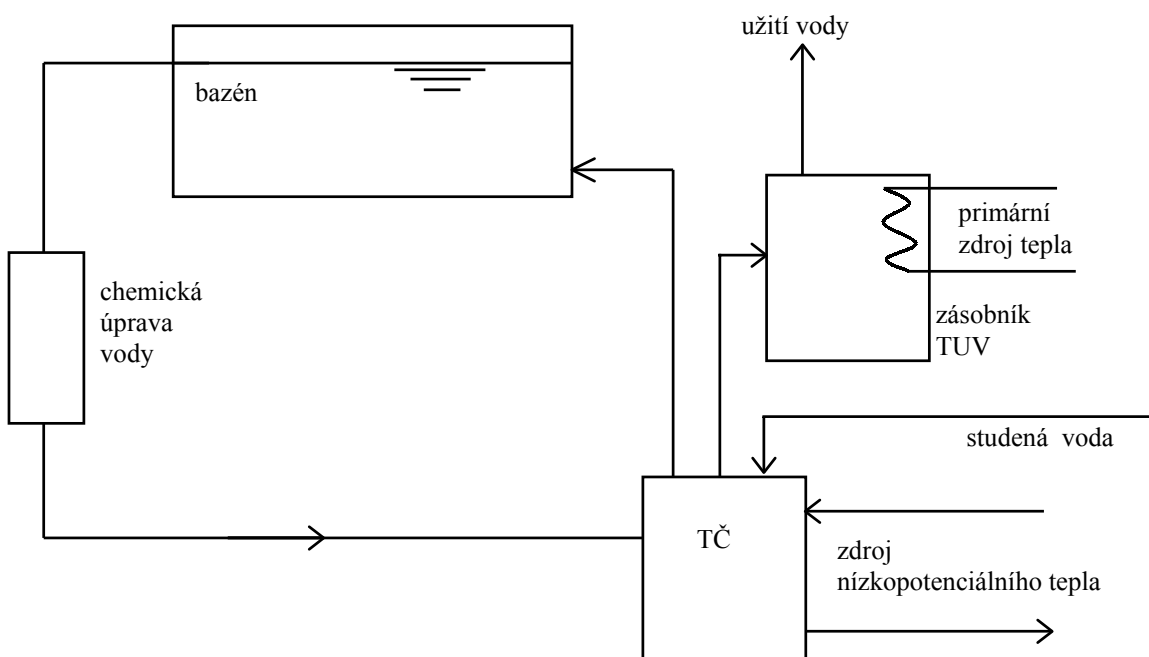
Tepelné čerpadla jako bivalentní zdroj



Tepelné čerpadlo v systému přípravy TUV



Tepelné čerpadlo pro vytápění bazénové vody a TUV



5.4. Úsporné sprchy

Spotřebu tepla v užitkové vodě o teplotě $40 \div 45^{\circ}\text{C}$ pro očistné lázně lze snížit instalací úsporných sprch, a to o více než polovinu současné spotřeby. Např. sprchy s tlačným zařízením umožňují odběr vody po dobu $30 \div 45$ s při výkonu 10 l/min.

Když předpokládáme, že většina návštěvníků uvede sprchu do provozu jen 1x, mohla by se v průměru spotřeba TUV snížit o cca polovinu.

Další možností je instalace úsporných sprchových hlavice.

5.5. Kombinovaná výroba tepla a elektřiny

Provozy plaveckých bazénů s vysokým ročním využitím kapacity a tedy i spotřeb tepla pro větší část roku nebo i celý rok jsou vhodné pro instalaci kogenerační výroby tepla a elektřiny s vysokým využitím provozu. Návrh kapacity kogeneračních jednotek by měl být vázán na ekonomickou potřebu tepla, elektřina je v tomto případě vedlejší produkt o množství odpovídající objemu potřebného tepla.

Uplatnění kogeneračních jednotek má především význam u objektů s vlastním zdrojem tepla.

Nejvhodnější je instalace plynových motorů, které se skládají ze spalovacího motoru, generátoru a dvou výměníků. Jeden slouží k využití odpadního tepla ve spalínách a druhý pro využití tepla z chladicí vody bloku motoru. Z hlediska ohřevu teplotnosného média jsou výměníky řazeny za sebou. Poměr tepelného výkonu vysokoteplotní a nízkoteplotní části odpadního tepla bývá nejčastěji v poměru $1 : 1$.

Výhodou spalovacích motorů oproti plynovým turbinám je jejich nižší investiční náročnost a nižší citlivost poklesu účinnosti při poklesu výkonu.

Při dimenzování výkonu zmíněného kogeneračního zařízení je třeba respektovat tyto požadavky:

- a) Maximalizace spotřeby vyrobené elektřiny uživatelem, tj. minimalizovat dodávky do veřejné sítě.

- b) Maximalizace doby využití tohoto poměrně nákladného zařízení. Splnění tohoto požadavku znamená splnění požadavku $P_{Qi} = P_{Q_{min}} + P_{QTUV}$

Výhodné je potřebnou kapacitu rozdělit do dvou jednotek pro možnost přizpůsobovat provoz proměnlivým spotřebám tepla. Při neuvažování krátkodobé zimní špičky byla by kapacita jednotek volena přibližně 70 (až 80) % zimní špičkové spotřeby tepla. Špičková krátkodobá spotřeba tepla by měla být kryta špičkovým teplovodním kotlem, paralelně pracujícím s kogeneračními jednotkami, který by měl tvořit i rezervní kapacitu při výpadku jedné kogenerační jednotky.

Teplo, vyráběné kogeneračními jednotkami o parametrech až 90/70°C lze použít pro veškeré potřebné účely plaveckého bazénu. Při návrhu instalace kogeneračních jednotek je třeba zvažovat problém hlučnosti a větrání provozu strojovny (zejména v letním období).

Samozřejmě, že toto doporučení je pouze orientační a při konkrétním projektu je třeba vždy vycházet z ekonomického hodnocení výhodnosti instalace takového zařízení.

Dosavadní zkušenosti při realizaci v tepelných systémech plaveckých bazénů ukazují na přínosnost takovýchto zařízení na ekonomii provozu.

5.6. Implementace solárních kolektorů

Další z možností úspor primární energie jsou zařízení na využití sluneční energie. Tato solární zařízení mají buď formu kapalinových kolektorů nebo teplovzdušných kolektorů.

V našich zeměpisných podmínkách se jeví nejvýhodnější kapalinové kolektory. Jedná se o absorbéry tepla sloužící především k přípravě TUV.

Většinou je vhodné tato zařízení navrhovat pro průměrné podmínky vyskytující se období od dubna do října.

Za toto období dopadne cca 75 % ročního úhrnu energie, což je cca 800 kWh/m².

Při průměrné účinnosti těchto zařízení ve výši 50 % může tedy vyrobit až 400 kWh tepla na 1 m².

Standardní zařízení pro ohřev teplé užitkové vody se skládá z těchto komponent.

- sluneční kolektory, jímající sluneční energii a transformují ji na teplo teplotnosné kapaliny,
- zásobník teplé vody (akumulátor) slouží k jímání teplé vody a vyrovnávání rozdílů mezi výrobou TUV a její spotřebou. Provedení těchto zásobníků může být bivalentní nebo trivalentní. Tyto zásobníky umožňují ohřev vody kromě sluneční energie buď topnou vodou z kotle nebo el. energií,
- potrubí, čerpadla a armatury,
- zabezpečovací zařízení slunečního okruhu (expanzní nádrž, pojistný a odvzdušňovací ventil),
- systém regulace.

Vzhledem k poměrně vysoké investiční náročnosti a nepříliš výhodným klimatickým podmínkám, je třeba navrhovat využití slunečních zařízení pouze v omezeném rozsahu jako dodatkový zdroj tepla, zejména v letním období, kdy mohou tato zařízení efektivně nahradit konvenční zdroj tepla.

5.7. Pohony a osvětlení

Pohony

Na základě dříve uvedených skutečností lze považovat v oblasti el. pohonů za nadějně realizovat inovace v těchto směrech:

- 1) Používání el. motorů moderní konstrukce s vysokou účinností
Jedná se zejména o motory využívající kvalitní magnetické materiály s nízkými ztrátami a izolačními materiály vyšších tepelných tříd, účinnou ventilací a menší hmotností a tedy i setrvačné hmoty.

- 2) Aplikace moderní polovodičové a mikroprocesorové regulační techniky pro snížení regulačních ztrát.

Osvětlení

Snižováním spotřeby el. energie pro osvětlení je spojeno s dodržením zásadní podmínky, a to, aby se tak nedělo na úkor zdraví a bezpečnosti lidí, to znamená, že musí být splněny hygienické a technické normy.

Přestože osvětlení nepatří mezi energeticky nejnáročnější spotřebiče v předmětném systému, je možné i v tomto systému dosáhnout významných úspor.

Energetická náročnost osvětlení prostor plaveckých bazénů je úzce spojena s architektonicko- stavebním řešením objektu. Tato problematika úzce souvisí s využitím denního světla pro osvětlení vnitřních prostorů. Čím větší prosklená plocha je k dispozici tím lze více ušetřit energie na osvětlení. Tato tendence je však v rozporu s tendencemi růstu tepelných potřeb. Proto je nezbytné hledat kompromis mezi těmito požadavky.

Aby bylo dosaženo dobrých výsledků vedoucích k úsporám energie při splnění požadavků a osvětlení z hlediska člověka je třeba při řešení vycházet z těchto zásad:

- 1) Formulovat správné zásady pro světelně technické řešení osvětlení s respektováním výsledků analýzy požadavků na osvětlení a platných předpisů.
- 2) Navrhované řešení musí splňovat požadavky na osvětlení v požadované toleranci a musí být energeticky úsporné, ale i nákladově přijatelné.
- 3) Světelné zdroje by měly mít co největší světelnou účinnost při dodržení požadavků na podání barev a zrakovou pohodu.
- 4) Svítidla mají mít co největší provozní světelnou účinnost s rozdělením světelného toku vyhovujícím prostorové situaci, nezpůsobující oslnění přímé i nepřímé.
- 5) Dbát, aby povrchy stěn měly co největší činitel odrazu světla.
- 6) Osvětlovací soustavy členit tak, aby v závislosti na denním osvětlení a provozních podmínkách bylo možno parametry osvětlení hospodárně regulovat.

Na základě analýzy současného stavu osvětlovacích soustav plaveckých hal lze pro snížení energetické náročnosti doporučit tato opatření:

- a) Technickoorganizační opatření, tj. údržba a adaptace řízení osvětlení v závislosti na provozních podmínkách, které lze aplikovat bez zásadních investic. Odhadovaná úspora 5 – 15 %.
- b) Významnější úspory lze dosáhnout rekonstrukcí osvětlovacích soustav vyžadující investice, jejichž návrh bude využívat zejména:
 - 1) Progresivní svítidla pro přímé osvětlení s vysokou světelnou účinností, tj.
 - u zářivek svítidla s parabolickou mřížkou vysoce leštěnou
 - u výbojek svítidla širokouhlá s otevřeným optickým systémem s vnitřními plochami vysoceleštěnými.
 - 2) Světelné zdroje s velkým měrným výkonem
 - u zářivek volit zdroje s trojpásmovými luminofory, které pro stejný světelný tok jako standardní zářivky spotřebují o 26 % méně energie,
 - u výbojek volit přednostně vysokotlaké sodíkové a halogenidové výbojky.
 - 3) Využívat předřadníky s malými ztrátami, zejména pak elektronické, které zmírňují ztráty ve srovnání s konvenčními až o 62 %.
 - 4) Účelné uspořádání svítidel do osvětlovací soustavy s cílem dosažení co nejvyššího činitele využití. Činitel využití je tím větší, čím větší je podíl světelného toku který dopadá přímo na osvětlovanou rovinu.
 - 5) Implementace zařízení pro regulaci osvětlovací soustavy na bázi
 - stupňovité regulace s použitím skupinového zapínání a vypínání svítidel, resp. snížením napětí na světelném okruhu.
 - regulace spojitá realizovatelná spojitou změnou napájecího napětí (např. u halogenových žárovek), resp. řídicím signálem měnit parametry elektronických předřadníků zářivek.

Dosažitelné úspory mohou činit 10 ÷ 20 %.

- 6) Realizovat účinnou údržbu osvětlovacích soustav. Ta spočívá v čištění a obnově svítidel, výměně vyhořelých a provozně neekonomických světelných zdrojích, údržbě el. rozvodů, apod.

Neudržovaná soustava má často větší příkon než odpovídá jmenovitým parametrům, protože například zářivky se startérem a indukčním předřadníkem při trvale žhavených elektrodách mají 1,5x větší odběr než při normálním režimu.

Závěrem lze konstatovat, že prostor pro úspory v oblasti el. energie je značný, vyžaduje však důkladnou analýzu stávajícího stavu kvalifikovanými odborníky, aby realizací bylo dosaženo záměru s maximální el. efektivností.

6. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ RACIONALIZAČNÍCH OPATŘENÍ

6.1. Doporučené kritérium hodnocení

Rozhodování o investičních akcích v rámci racionalizačních opatření ve stávajícím systému zásobování plaveckých areálů energií je vždy nezbytné provádět na bázi propočtu ekonomické efektivity vynaložených investičních prostředků, neboť do značné míry ovlivňuje naplnění dlouhodobých cílů hospodárného provozu a tím i dostupnost poskytovaných služeb pro širokou veřejnost.

Dominantní postavení sice nelze spatřovat obecně u těchto zařízení v **maximalizaci zisku**, avšak při rozhodování o realizaci úsporných opatření je třeba se tímto kritériem řídit.

Velmi důležitou roli při rozhodování a budoucí investici má rovněž její přínos k peněžnímu toku t.j. **cash flow** podniku, který musí být co nejlepší dopad během své činnosti na vytváření resp. čerpání finančních zdrojů.. Jinak nelze doporučit investici k realizaci.

Proto je velmi důležité věnovat investičnímu rozhodování náležitou pozornost a proto také v této studii je věnována odpovídající pozornost hodnocení ekonomické efektivity investic.

Námi doporučená metoda, kterou v následující části této kapitoly stručně popíšeme, vychází z principu maximalizace zisku vyprodukovaného provozováním hodnocené investice v budoucích letech.

Vzhledem k tomu, že při hodnocení investice dochází k časovému nesouladu mezi kapitálovými výdaji a očekávanými příjmy, je nezbytné při výpočtech respektovat faktor času, pomocí něhož se přepočítávají různodobé finanční veličiny k jednomu časovému okamžiku.

Zpravidla to je počátek provozu investice. Funkci faktoru času v propočtech efektivity nejčastěji zastává tzv. diskontní míra vyjádřená nejčastěji buď průměrnými kapitálovými náklady podniku nebo výnosovými mírami státních obligací .

Vlastní postup hodnocení efektivnosti investice je založen na těchto postupových krocích:

- 1) Vypracování technicky realizovatelných alternativ řešení projektu, které se liší stavebním řešením, technologií, způsobem energetického napojení apod. Rovněž se mohou lišit i výrobním účinkem.*
- 2) Určení kapitálových výdajů na realizaci navržených řešení*
- 3) Odhad budoucích výnosů a výdajů, které investice přinese během své životnosti*
- 4) Kvantifikace rizik*
- 5) Výpočet kritériálních ukazatelů ekonomické efektivnosti*

Velmi stručně se nyní zmíníme o kritériálních ukazatelích a jejich výpočtu.

Hodnocení ekonomické efektivnosti investic se většinou provádí ve dvou rozlišovacích úrovních a to

- **hodnocení z hlediska projektu**

- **hodnocení z hlediska investora**

V obou úrovních se využívá metoda Net Present Value, která reprezentuje tzv. dynamický způsob hodnocení.

Tato metoda respektuje faktor času a časové rozložení výnosů a výdajů z provozu investice a jednorázových kapitálových výdajů spojených s pořízením investice tak, že tyto různodobé finanční veličiny připočítává na současnou hodnotu.

Hlavními kritériálními ukazateli jsou:

a) diskontovaný zisk

b) diskontované cash-flow

V případě, kdy posuzované alternativy investičního záměru mají stejný výrobní efekt a tudíž i tržby, užívá se kritériálního ukazatele v podobě

c) diskontovaných výrobních nákladů

Dalšími často používanými ukazateli jsou:

- **vnitřní výnosové procento (IRP)**
- **doba splacení investice**

Při hodnocení efektivnosti z **hlediska projektu** se neuvažují daně a použitý kapitál se uvažuje s výnosem dle použité diskontní míry a anuitním splácením po dobu životnosti.

Při hodnocení efektivnosti z **hlediska investora** je respektován daňový systém, použité finanční zdroje (vlastní kapitál, bankovní úvěr apod.) odpisové sazby, atd. Ukazatelé investora jsou počítány z použitelného zisku, t.j. po zdanění.

Výběr optimální varianty se tedy provádí podle maxima diskontovaného zisku resp. maxima diskontovaného cash flow za dobu životnosti.

Při hodnocení předmětné problematiky doporučujeme používat kritériálního ukazatele - **maxima průměrného diskontovaného ročního zisku.**

Tento ukazatel se stanoví dle obecného vztahu

$$Z_{vr} = \sum_{T=1}^{T_z} V_{ii} r_i^T - \sum_{T=1}^{T_z} N_p \cdot r^T - N_{i_i}$$

tj. diskontovaný zisk = diskontované tržby – diskontované provozní náklady – investiční náklady

Využijeme-li obecného zápisu ziskového kritéria a bude-li se aplikovat na hodnocení ekonomické efektivnosti racionalizačního opatření lze "tržby" tohoto opatření vyjádřit oceněním úspory energie, označované dále v textu symbolem U.

Budou-li účinky a nároky posuzovaného racionalizačního opatření neměnné během ekonomické životnosti, lze kritérium ekonomické efektivity tohoto opatření formulovat požadavkem

$$Z_r = U_r - N_{(pr-pe)_r} - N_{ip} \cdot a_{Tz} > 0 \quad (3)$$

kde U_r je roční netto úspora energie oceněná jednotkovými náklady na opatření

energie /Kč/

$N_{(pr-pe)_r}$ roční změna provozních nákladů snížených o náklady na

spotřebu energie související s racionalizačním opatřením /Kč/

a_{Tz} časová proměnná anuita za dobu ekonomické životnosti T_z

(zahrnuje poměrný odpis $p_o = 1/T_z$ a tzv. anuitní úrokovou míru

$$p_a = (q^{Tz} \cdot p_d) / (q^{Tz} - 1) - 1 / T_z = a_{Tz} - p_o, \quad q = 1 + p_d$$

kde p_d je diskontní sazba)

N_{ip} porovnávací investiční náklady respektující úroky

(vázanost) během doby výstavby

Jestliže se nároky a účinky během ekonomické životnosti mění, použije se kritéria v průměrném ročním tvaru

$$Z_{ro} = U_{ro} - N_{(pr-pe)_{ro}} - N_{ip} \cdot a_{Tz} > 0 \quad (4)$$

Modifikací kritéria (1) resp. (2) je kritérium minima výrobních nákladů případně limitních investičních nákladů na úsporu energie. Nákladové kritérium v průměrném ročním tvaru má tento zápis:

$$N_{vro} = N_{pro} + N_{ip} \cdot a_{Tz} = \min \quad (5)$$

kde

N_{pro} jsou průměrné roční provozní náklady

Efektivní je varianta, která dosahuje minima průměrných ročních výrobních nákladů.

Další modifikací kritéria (1) resp. (2) je ukazatel nákladovosti, který se stanovuje takto:

$$n = (N_{(pr-pe)_o} + a_T N_{ip}) / U < 1 \quad (6)$$

Nejefektivnější variantou je pak varianta s nejnižší hodnotou ukazatele efektivnosti. Na základě tohoto ukazatele je možné sestavit žebříček racionalizačních opatření pro systémovou optimalizaci .

6.2. Citlivostní analýza

Každý podnikatelský záměr či projekt je doprovázen rizikem. Toto podnikatelské riziko má dvě stránky a to pozitivní a dále pak negativní.

Pozitivní stránka rizika je spojována s nadějností úspěchu a dosažení vysokého zisku, kdežto negativní stránka se projevuje nebezpečím dosažení horších hospodářských výsledků než byl předpoklad a následné ztráty.

Analýza rizika je prováděna při posuzování podnikatelských investičních projektů především s cílem kvantifikace negativních stránek rizika.

Prováděná analýza je nejčastěji rozdělována byla rozdělena do těchto postupových kroků:

- a) *Určení faktorů rizika projektu*
- b) *Stanovení významnosti faktorů rizika*
- c) *Stanovení rizika projektu*
- d) *Vyhodnocení rizika projektu*

Krok A - určení faktorů rizika

Za hlavní faktory rizika předmětného projektu lze považovat tato rizika:

1. **technická** - spočívající v zajištění spolehlivého provozu technologických zařízení
2. **ekonomická** - reprezentují širokou škálu rizik nákladových plynoucích z růstu cen služeb, materiálů a energie, dále pak inflaci apod.
3. **finanční** - související s úspěšností produkce podniku na trhu, dostupnosti bankovních úvěrů, změny úrokových sazeb apod.

Krok B - Stanovení významnosti faktorů rizika

Významnost faktorů rizika se nejčastěji stanovuje na základě odborného odhadu a dále pak pomocí citlivostní analýzy.

Cílem citlivostní analýzy je stanovení citlivosti hospodářského výsledku projektu t.j. zisku resp. výrobních nákladů na rizikové faktory, jež tento výsledek nejvíce ovlivňují.

Za hlavní faktory rizika se nejčastěji považují tato rizika: **investiční náklady, provozní náklady (vliv cen energie, oprav a služeb), výši úspor apod.**

7. PŘÍPADOVÁ STUDIE ÚSPOR ENERGIE PLAVECKÝCH BAZÉNŮ

Pro demonstraci potenciálu tepelných úspor byl zvolen průměrný nejčastěji se vyskytující bazén o délce 25 m, z větší části samostatně stojící.

Rozměry a parametry bazénu:

délka:	25 m
šířka:	2,5 m
průměrná hloubka:	2,5 m
objem vody:	780 m ³
plocha hladiny:	312,5 m ²
teplota vody	(24) ÷ 25°C

Rozměry a parametry bazénové haly:

délka:	33 m
šířka (vč. tribuny)	30 m
výška	8 m
objem haly:	7000 m ³
(bez podtribuní)	
teplota vzduchu:	(25) ÷ 27°C

Provozní údaje:

provozní doba:	360 dní/rok
počet návštěvníků průměrně	500 os/den
průměrný počet provozních hodin	17 hod/den
počet hodin provozu za rok:	6120 hod/rok

Přibližná bilance spotřeb tepla:

- Vytápění haly a příslušenství: (bez vytápění vzduchotechnikou)	80 kW	720 GJ/rok
- Větrání haly a příslušenství (včetně vytápění vzduchotechnikou)	360 kW	3500 GJ/rok
- <u>vodní hospodářství . ohřevy</u>	<u>130 kW</u>	<u>2880 GJ/rok</u>
	570 kW	7100 GJ/rok

Přibližná kvantifikace možných úspor tepla:

a) Rekuperace tepla ve větracím vzduchu:

Instalací rekuperačního zařízení by bylo možno v daném případě získat zpětně teplo v objemu do **2000 GJ/rok**.

b) Instalace tepelného čerpadla:

Pro alespoň částečné využití tepla, obsaženého v odpouštěné bazénové vodě (při doplňování čerstvé vody) a odpadní vody ze sprch je možno instalovat tepelné čerpadlo voda-voda. Sběr oteplené vody však bude v mnohých případech problematický. Přibližná velikost tepelného čerpadla – výkon 25 kW. Výroba tepla ročně přibližně **500 GJ/rok** při spotřebě el. energie cca 35 MWh/rok.

c) Úsporné sprchy:

Při instalaci úsporných sprch by došlo k úspoře tepla ve výši cca **260 GJ/rok**.

d) Zlepšení tepelně- technických vlastností obvodových konstrukcí

Provedením rekonstrukce zasklení bazénové haly (výměna zasklení + snížení plochy zasklení) a zateplením střešní konstrukce se sníží roční potřeba tepla cca o **980 GJ**.

e) Kombinovaná výroba tepla a elektřiny

V úvahu by připadala instalace 2 ks kogeneračních jednotek o kapacitě tepelné max. po 200 kW, a to v případě, že nebudou provedená jiná navrhovaná úsporná opatření. V opačném případě by byla volena nižší kapacita kogeneračních jednotek v rozmezí 100 ÷ 150 kW tepelného výkonu.

Provozem kogeneračních jednotek by bylo možno pokrýt okolo 80 % potřeby tepla a téměř celou potřebu elektrické energie.

Zároveň je třeba si uvědomit, že dojde ke zvýšené spotřebě zemního plynu.

Z této úvahy pak vyplývá, že technicky realizovatelný potenciál úspor činí **3740 GJ**,

což je téměř **53 %** stávající spotřeby tepla.

Výše uvedený technický potenciál je značně vysoký a rozhodně stojí za další podrobnější technické řešení specifické pro konkrétní podmínky jednotlivých plaveckých bazénů.

Je samozřejmé, že ne všechna diskutovaná technická opatření jsou stejně ekonomicky nadějná. Z těchto důvodů je nezbytné vždy před rozhodnutím o realizaci provést ekonomickou analýzu jednotlivých racionalizačních opatření za účelem stanovení ekonomické efektivity a financovatelnosti předmětného projektu. Teprve na základě toho je možné stanovit pořadí výhodnosti realizace jednotlivých technických opatření.

8. ZÁVĚR

Provoz plaveckých areálů je nákladově náročný a v převážné většině realizované tržby nepokrývají náklady a provoz je nutné dotovat.

Mezi nejvýznamnější nákladové položky kromě mezd patří náklady na energii a vodu.

Proto tato studie byla zaměřena na problematiku úspor energie při provozu krytých plaveckých bazénů.

Z provedené analýzy problematiky zásobování plaveckých bazénů lze doporučit k realizaci některá z těchto opatření vedoucích k úsporám energie:

Zásobování teplem

- *Modernizace tepelných zdrojů na principu Integrovaného plánování zdrojů (IRP) vedoucí k optimální velikosti instalovaného tepelného výkonu vysoce účinných výrobních zařízení s implementací systému bezobslužného provozu umožňující minimalizovat nároky na obsluhu. Koncepce řešení by vždy měla zvažovat uplatnění kogeneračních jednotek ve funkci základního zdroje tepla a samozřejmě respektovat úsporná opatření na straně spotřeby a jejich dopady do energetických potřeb.*
- *Stávající zdroje tepla v odůvodněných případech doplnit o kogenerační jednotku na bázi plynového motoru, aby byla převážná většina vyrobené elektřiny spotřebována v předmětném systému.*
- *Na základě posouzení tepelně technických vlastností objektu přistoupit k postupným realizačním zateplovacím krokům vedoucím ke snížení tepelných ztrát budovy. Jedná se zejména o prosklené plochy a střešní pláště. Realizace těchto opatření může podle stavu objektu dosáhnout úspor až 30 % stávající potřeby.*
- *Významným racionalizačním opatřením je bezesporu využití vzduchotechnických jednotek s rekuperací, které je vzhledem hygienickým požadavkům energeticky náročně vlivem vysokého objemu nucené výměny vzduchu (2 x za hodinu) vede k významným úsporám tepla na větrání ve výši minimálně 60 %.*

- *Dalším nadějným opatřením vedoucím ke snížení energetické náročnosti je aplikace tepelných čerpadel. Tato zařízení je možné uplatnit jak v systému ohřevu vody, tak i v systémech větrání. Jedná se o tepelná čerpadla typu voda-voda resp. vzduch-vzduch. Vzhledem k poměrně vysokým investičním nákladům je vzhledem k celoročnímu provozu výhodnější upřednostňovat implementaci těchto zařízení především v systému přípravy TUV.*

Zásobování el. energií

V oblasti spotřeby elektrické energie je třeba zaměřit pozornost na:

- *Modernizaci pohonů ve smyslu využití moderních energeticky úsporných elektromotorů s regulací otáček na bázi frekvenčních měničů.*
- *Energetickou náročnost osvětlovacích soustav efektivně snižovat implementací vysoce účinných svítidel a světelných zdrojů. Jedná se zejména o modernizaci na bázi zářivek s třípásmovým luminoforem a vysokotlakých sodíkových a halogenidových výbojek.*
- *Optimalizovat odběrový diagram elektrické energie s cílem minimalizovat technické maximum a špičkové čtvrt hodinové maximum.*
- *Instalací kogeneračního zdroje snížit nákladově náročný odběr elektrické energie realizovaný ze sítě rozvodných energetických společností.*

Důležitým prvkem úspor v oblasti energie je řádně a odborně prováděná údržba.

Pozornost je třeba věnovat rovněž úsporám vody. Možné cesty lze spatřovat zejména v instalaci úsporných sprchových a umyvadlových baterií. Další možné úspory lze spatřovat ve využívání vlastního zdroje nezávadné vody.

Vzhledem k velmi omezeným finančním zdrojům provozovatelů resp. vlastníků těchto sportovních zařízení je vždy nezbytné provádět kvalitní ekonomickou analýzu navržených opatření, která objektivně umožní zhodnotit přínos těchto záměrů k zefektivnění provozu.

LITERATURA

- / 1 / Mareš, Povýšil : Strategie tvorby projektů úspor elektrické a tepelné energie, MPO ČR, 1993
- / 2 / Metodika snižování energetické náročnosti krytých bazénů a sportovišť, ČEA, 1998
- / 3 / ČSN 730540 1-4 – Tepelná ochrana budov
- / 4 / ČSN 731901 – Navrhování střech – Základní ustanovení
- / 5 / K.Blodek a kol.: Obvodové pláště staveb a prostorů namáhaných vlhkým vnitřním prostředím ČSVTS,1990