

SÁLAVÉ A PRŮMYSLOVÉ VYTÁPĚNÍ PRO IB

Prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

a

Ing. Ondřej Hojer, Ph.D.

Praha 2009

Evropský sociální fond Praha & EU: Investujeme do vaší budoucnosti



PŘEDMLUVA

Předložené skriptum je určeno studentům ČVUT v Praze, kteří studují mezifakultní studijní obor Inteligentní budovy. Je koncipováno jako studijní pomůcka především k přednáškám v předmětu Sálavé a průmyslové vytápění, který je zaměřen na prohloubení znalostí jak teoretických, tak praktických v oblasti vytápění a velkoplošného převážně sálavého vytápění, vytápění sálavými panely, pasy a zářiči.

Skriptum vzniklo z potřeby poskytnout studentům oboru Inteligentní budovy metodické základy a praktické poznatky v šíři a hloubce, která jim umožní se velice dobře orientovat ve výše uvedené problematice.

Výklad předpokládá předchozí znalost předmětů Technika prostředí a Základy vytápění a to především v oblasti výpočtu tepelných ztrát, potřeby tepla a paliva a komínové techniky. Skripta Sálavé a průmyslové vytápění vycházejí v této podobě poprvé, a to především s ohledem na změny uskutečněné ve studijních plánech navazujícího magisterského studia. Pro ulehčení studia nepíšeme souhrnný seznam značení ale uvádíme značení vždy u jednotlivých vztahů.

Přijmout dobré rady vyžaduje víc moudrosti, než je rozdávat.

Samuel Johnson

V Praze v prosinci 2009

Jiří Bašta

OBSAH

1. Projektování otopných soustav	5
1.1 Oběh vody v soustavě	6
1.1.1 Soustava s přirozeným oběhem	6
1.1.2 Soustava s nuceným oběhem	7
1.2 Hlavní ležatý rozvod	8
1.3 Rozvod otopné vody k otopným tělesům	9
1.3.1 Horizontální soustava	9
1.3.2 Vertikální soustava	10
1.3.3 Hvězdicová soustava	10
1.4 Způsob přívodu a odvodu vody k/z otopných těles	10
1.4.1 Dvoutrubkové otopné soustavy	10
1.4.2 Jednotrubkové otopné soustavy	11
2. Pojistné a zabezpečovací zařízení	15
2.1 Pojistné zařízení	16
2.2 Otevřená expanzní nádoba	17
2.3 Tlaková expanzní nádoba	19
3. Teplota teplotonosné látky	20
4. Materiál potrubního rozvodu	22
4.1 Potrubí z oceli	23
4.2 Potrubí z mědi	24
4.3 Potrubí z plastů	25
5. Příklady řešení otopných soustav	26
5.1 Dvoutrubková otopná soustava vertikální se spodním rozvodem a nuceným oběhem vody, teplovodní, uzavřená, protiproudá	27
5.2 Dvoutrubková otopná soustava horizontální etážová, s nuceným oběhem vody, teplovodní, uzavřená a protiproudá	28
6. Hydraulický výpočet potrubních sítí otopných soustav	29
6.1 Základní vztahy	29
6.2 Bilanční tlakové rovnice	32
6.3 Výpočet dvoutrubkových teplovodních otopných soustav s přirozeným oběhem vody	33
6.3.1 Postup při výpočtu potrubní sítě se spodním a horním rozvodem – metoda předběžného tlakového spádu	35
6.4 Výpočet dvoutrubkových teplovodních otopných soustav s nuceným oběhem vody	37
6.4.1 Metoda přímé volby čerpadla	39
6.4.2 Metoda ekonomických rychlostí	40
6.4.3 Metoda ekonomického tlakového spádu	40
6.4.4 Metoda využití ekvivalentních délek	40
7. Velkoplošné sálavé vytápění	42
7.1 Podlahové vytápění	43
7.1.1 Tepelně-technické vlastnosti pro podlahové vytápění	45
7.1.2 Tepelná pohody	45
7.1.3 Konstrukce a provedení podlahové otopné plochy	48
7.1.4 Jednotlivé vrstvy	52
7.1.5 Potrubí otopného hadu	57
7.2 Tepelně-technický výpočet teplovodního podlahového vytápění	59
7.3 Hydraulický výpočet podlahového vytápění	64

8. Elektrické podlahové vytápění	66
8.1 Základní typy elektrického podlahového vytápění	66
8.2 Tepelně-technický výpočet elektrického podlahového vytápění	68
8.3 Provedení otopné plochy a časová konstanta	69
8.4 Teplotní poměry v otopné ploše	71
8.5 Tepelné toky a tepelný příkon otopné plochy	74
8.6 Doplnková otopná plocha	76
8.7 Konstrukce elektrické podlahové otopné plochy	77
8.8 Montáž a zkoušky elektrické podlahové otopné plochy	78
8.9 Provoz elektrického podlahového vytápění	81
9. Stěnové vytápění	83
9.1 Provedení stěnové otopné plochy	84
9.2 Doporučení pro návrh	85
10. Stropní vytápění	85
10.1 Trubky zalité ve stropě	86
10.2 Použití lamel	90
10.3 Použití sálavých desek a pasů	93
10.4 Stropní vytápění s dutým podhledem	93
11. Stropní velkoplošné chlazení	93
12. Vytápění zavěšenými sálavými panely	96
12.1 Charakteristika zavěšených sálavých panelů	96
12.2 Sálavá účinnost	97
12.3 Metodika výpočtu a návrhu sálavých panelů	98
13. Vytápění světlymi a tmavými plynovými zářiči	106
13.1 Charakteristika světlych a tmavých plynových zářičů	106
13.2 Sálavá účinnost	108
13.3 Jádrové a celkové sálání	108
13.4 Metodika výpočtu zářičů	108
13.4.1 Definice	108
13.4.2 Druhy a typy zářičů	110
13.4.3 Rozmíst'ování zářičů	111
13.4.4 Návrh tepelného výkonu	116
13.4.5 Potřeba plynu za otopné období	120
13.4.6 Regulace a provoz	120
13.4.7 Rozvod plynu	121
13.4.8 Větrání	121
14. Literatura	122

Autorský podíl:

Prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.: kapitoly 1 až 11

Ing. Ondřej Hojer, Ph.D.: kapitoly 12 a 13

Úvod

Otopná soustava zajišťuje přenos tepla ze zdroje do jednotlivých vytápěných místností. Jedná se tak o část tepelné soustavy, určené pouze pro vytápění, která prostřednictvím otopných těles, případně jiných otopných ploch zajišťuje v jednotlivých místnostech předepsaný teplotní stav vnitřního prostředí..." Skládá se ze zdroje tepla, potrubní sítě, pojistného a zabezpečovacího zařízení, armatur, čerpadel, otopných ploch a regulačních zařízení.

1. Projektování otopných soustav

Základním legislativním podkladem pro projektování otopných soustav jsou příslušné evropské či české normy, vyhlášky a nařízení vlády.

Navrhování vodních otopných soustav se provádí jako u většiny prvků budov dvoustupňově. V prvním stupni se provede návrh tras a parametrů potrubní sítě, v druhém se pak provede hydraulický výpočet a návrh zaregulování celé soustavy. Návrh otopné soustavy by měl vždy vycházet z požadavků pro konkrétní budovu.

Návrhem otopné soustavy se rozumí volba jednotlivých prvků a parametrů otopné soustavy z hlediska minimálních nákladů provozních a investičních s přihlédnutím ke specifickým podmínkám daného objektu (požadavky investora, dočasná stavba, místní zvyklosti) a zajištění tepelného komfortu ve vytápěných prostorech.

Otopná soustava je definována parametry **geometrickými, teplotními, tlakovými a materiálovými**. Převážně konvekční teplovodní otopné soustavy lze rozdělit podle několika hledisek:

- Dělení podle zajištění oběhu otopné vody:
 - soustavy s přirozeným oběhem
 - soustavy s nuceným oběhem
- Dělení podle provedení hlavního rozvodu otopné vody:
 - soustavy se spodním rozvodem
 - soustavy s horním rozvodem
- Dělení podle rozvodu otopné vody k jednotlivým otopným tělesům:
 - soustavy vertikální
 - soustavy horizontální
 - soustavy hvězdicové
 - soustavy smíšené
- Dělení podle způsobu přívodu a odvodu otopné vody z/k otopným tělesům:
 - dvoutrubkové protiproudé
 - dvoutrubkové souproudé (Tichelmann)
 - jednotrubkové bez obtoků otopných těles (průtočné, se čtyřcestnými armaturami)
 - jednotrubkové s obtoky otopných těles (např. jezdecké napojení otopných těles)
- Dělení podle spojení s atmosférou:
 - teplovodní otopné soustavy otevřené

(max. do 95 °C; s otevřenou expanzní nádobou)

- teplovodní otopné soustavy uzavřené
(s tlakovou expanzní nádobou či automatickým expanzním zařízením)

▪ Dělení podle teploty teplotnosné látky:

- otopné soustavy nízkoteplotní do 65 °C
- otopné soustavy teplovodní do 115 °C (v platných předpisech není teplota jednotná; buď 110 nebo 115 °C)
- otopné soustavy horkovodní nad 115 °C (v platných předpisech není teplota jednotná; buď 110 nebo 115 °C)

▪ Dělení podle materiálu potrubního rozvodu:

- potrubní rozvod z oceli
- potrubní rozvod z mědi
- potrubní rozvod z plastů (síťovaný polyetylén, polybuten, statický polypropylen, chlorované PVC, vícevrstvé trubky)

1.1 Oběh vody v soustavě

Oběh otopné vody v potrubních sítích otopných soustav zajišťuje přenos tepelné energie obsažené ve vodě od zdroje tepla k otopným plochám a zároveň dopravu ochlazené vody z otopných ploch zpět ke zdroji tepla. Základním předpokladem je vyvození dispozičního rozdílu tlaků v potrubní síti Δp_{DISP} . To je rozdíl celkových tlaků vyvolaný rozdílem hustot vody působících hydrostaticky ve sloupcích o určité výšce, nebo dopravním tlakem čerpadla, což je rozdíl celkových tlaků na výtaku a sání čerpadla. Celkovým tlakem rozumíme součet tlaku statického Δp_s a dynamického Δp_d .

Rozlišujeme tak v soustavě oběh vody přirozený (samotíž), nebo nucený. Přirozený oběh vody vzniká, jak již bylo uvedeno, na základě rozdílných hustot vratné (chladnější) a přívodní (teplé) otopné vody v součinnosti s výškou vodních sloupců. Nucený oběh je vyvolán dopravním tlakem oběhového čerpadla.

K výhodám přirozeného oběhu patří nezávislost na dodávce elektrické energie a k výhodám nuceného oběhu zase zajištění lepších hydraulických a teplotních parametrů, dobrá regulace a měření spotřeby tepla, jako i urychlení zátoku.

K nevýhodám přirozeného oběhu patří omezené možnosti napojení nepříznivě umístěných těles, velká tepelná setrvačnost, velké průměry potrubí, nemožné použití vhodných regulačních prvků. Nevýhodou nuceného oběhu je závislost provozu na dodávce elektrické energie.

1.1.1 Soustavy s přirozeným oběhem

Princip přirozeného oběhu lze vysvětlit takto. Voda ve vratném potrubí je chladnější než voda v přívodním potrubí. Voda ve vratném potrubí má vyšší hustotu, takže ze strany vratné vody je v kotli vyšší hydrostatický tlak ($\rho \cdot g \cdot h$) než ze strany vody přívodní. Vztlak (účinný tlak, či přirozený vztlak) způsobí pohyb vody v okruhu kotel - otopné těleso – kotel, a tak dochází k přirozenému oběhu vody. Přes otevřenou expanzní nádobu voda necirkuluje, pokud není

otevřen cirkulační obtok, neboť vodní okruh není uzavřen. Dnes se však i u otopných soustav s přirozeným oběhem vody používají tlakové expanzní nádoby.

Přirozený oběh je výhodný zejména pro soustavy menší, půdorysně málo rozlehlé, s většími výškovými rozdíly mezi otopnými tělesy a zdrojem tepla. Větší výškový rozdíl zajišťuje dostatečný rozdíl hydrostatických tlaků v okruhu a malá půdorysná rozlehlost znamená menší tlakové ztráty v jednotlivých okruzích. Potrubní síť pro rozvod otopné vody je většinou dvoutrubková a podle umístění hlavního horizontálního přívodního potrubí se rozlišuje soustava se spodním rozvodem a s horním rozvodem.

Přirozený oběh se používá pro menší tepelné příkony, jako např. pro rodinné domy a menší bytové budovy či rekreační objekty, kde jsou časté výpadky elektrické energie. Používá se především u kotelen na tuhá paliva o výkonu do 200 kW. Hlavní výhodou je, že přirozený oběh není závislý na dodávce elektrické energie pro pohon čerpadla. To má velký význam u kotlů na tuhá paliva, které tak mají zajištěn trvalý odběr tepla. Armatury se volí s malou tlakovou ztrátou (kohouty, šoupátka, nízkoodporové termostatické ventily). Jmenovitý teplotní spád se z důvodů dostatečného vztlaku volí 90/70 °C.

1.1.2 Soustavy s nuceným oběhem

U budov s větším tepelným příkonem, u budov půdorysně rozlehlých a u budov s komplikovanějšími potrubními sítěmi je nutno navrhovat nucený oběh vody. Nucený oběh, tedy oběh s oběhovým čerpadlem, je schopen překonat mnohonásobně větší tlakové ztráty. Oběhová čerpadla se dříve, vzhledem k tepelnému namáhání, instalovala převážně do vratného potrubí. Dnešní čerpadla jsou navrhována na trvalou teplotní odolnost za provozu do 120 °C a tak je vhodnější, vzhledem k rozložení tlaků v soustavě, umístit čerpadlo v přívodním potrubí. Někdy se paralelně s čerpadlem navrhuje obtok, který po vypnutí čerpadel a po otevření armatury umožní přirozený oběh, a tím i chlazení kotle, např. při výpadku elektrického proudu u kotelen na tuhá paliva (to předpokládá i projektování potrubní sítě na nižší rychlosti než je obvyklé pro nucený oběh. Zpětné klapky za čerpadly vylučují zkrat přes nepracující čerpadlo.

Schéma otopné soustavy s nuceným oběhem je v podstatě stejné jako u soustavy s přirozeným oběhem. Vlastní soustava může být opět dvoutrubková nebo jednostrubková, se spodním či horním rozvodem.

Nucený oběh má ve srovnání s přirozeným oběhem mnohé výhody. Jmenovité světlosti potrubí vycházejí menší, neboť lze volit vyšší rychlosti proudění a vyšší tlakové ztráty lze překonat dopravním tlakem čerpadel. Snižují se náklady na materiál a montáž a vylepší se i vzhled nezakrytých částí potrubní sítě. Další výhodou je, že otopná tělesa lze umístit do stejné úrovně jakou má zdroj tepla či pod ni. Nucený oběh nám poskytuje rovněž rozsáhlé možnosti regulace a rychlý zátap.

Nevýhodou nuceného oběhu je, že provoz je závislý na dodávce elektrické energie a že soustava je provozně nákladnější. Rovněž je třeba pamatovat na skutečnost, že čerpadla vnášejí do potrubí hluk, a tak je nutné oddělit čerpadla od potrubní sítě pryžovými kompenzátory.

Bez ohledu na to, je-li oběhové čerpadlo zařazeno do přívodního nebo vratného potrubí otopné soustavy, je vždy nutno kontrolovat, zda v žádném místě soustavy nevzniká podtlak proti atmosféře, který by vedl k vnikání vzduchu netěsnostmi do soustavy, a tím způsoboval provozní poruchy či nežádoucí hlukové projevy.

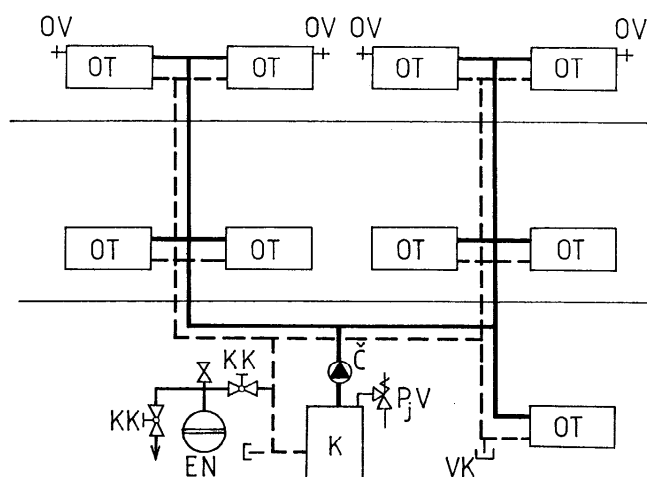
1.2 Hlavní ležatý rozvod

Podle umístění ležatého rozvodu rozlišujeme soustavy se spodním rozvodem, s horním rozvodem a event. s kombinovaným rozvodem.

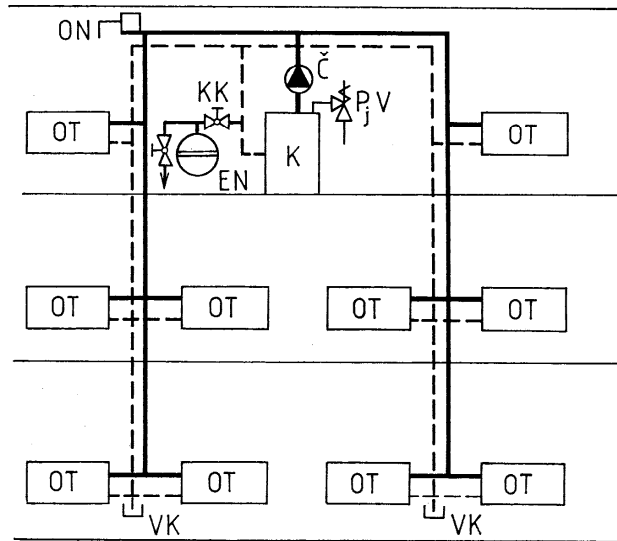
Soustavy **se spodním rozvodem** mají hlavní ležatý rozvod veden v nejnižším podlaží pod stropem nebo v kanálu v podlaží a na něj jsou napojeny jednotlivé vertikální větve (stoupačky). Tento způsob vedení je nejčastěji používán u podsklepených budov se zdrojem tepla umístěným v nejnižším podlaží (obr. 1).

Pokud objekt není podsklepen a v nejnižším podlaží není možné např. z dispozičních důvodů vést ležaté rozvody, je možné použít soustavu **s horním rozvodem**, kde je tento rozvod uložen např. v půdním prostoru (obr. 2). Obvyklým řešením s horním rozvodem jsou objekty s tzv. „nástřešní“ kotelnou, která vznikla z části bývalých půdních prostor. Hlavní ležatý (horizontální) rozvod je pak veden nad či v podlaží bývalého půdního prostoru. Stejně tak můžeme o použití soustavy s horním ležatým rozvodem uvažovat, je-li zdroj tepla umístěn na střeše objektu. Soustava s horním rozvodem sebou přináší mnoho komplikací zvláště u budov s plochou střechou bez technického podlaží, a tak je jeho použití v těchto budovách spíš výjimkou.

Soustavy **s kombinovaným horním nebo spodním rozvodem** (název určuje, kde je vedeno hlavní ležaté přívodní potrubí), jsou kombinací výše uvedených způsobů zapojení. Používá se jich spíš výjimečně v těch budovách, kde je možné vést ležaté rozvody jak v nejnižším, tak v nejvyšším podlaží, např. u vertikální jednotrubkové soustavy.



Obr. 1 Umístění ležatého rozvodu ve vícepodlažní budově - spodní rozvod



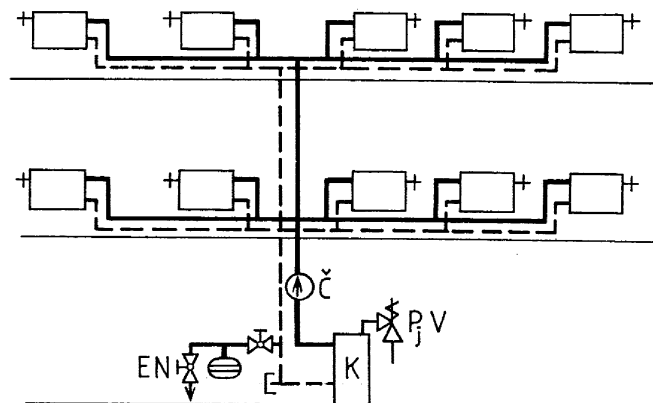
Obr. 2 Umístění ležatého rozvodu ve vícepodlažní budově – horní rozvod

1.3 Rozvod otopné vody k otopným tělesům

Podle způsobu vedení rozvodu, na který jsou napojeny přípojky otopných těles, rozlišujeme soustavy horizontální, vertikální a hvězdicové.

1.3.1 Horizontální soustava

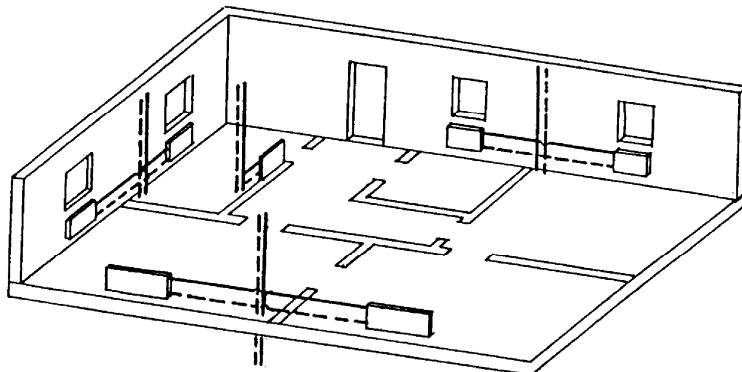
Horizontální soustava se vyznačuje minimálním počtem stoupaček. Na ně jsou napojeny horizontální okruhy podlažních ležatých rozvodů. Otopná tělesa jsou napojena na horizontálně vedené potrubí vertikálními přípojkami (obr. 3). Zvláštním případem horizontální otopné soustavy je etážová soustava, kde zdroj tepla, rozvod i otopná tělesa jsou umístěna v jednom podlaží.



Obr. 3 Horizontální otopná soustava ve vícepodlažním domě

1.3.2 Vertikální soustava

U vertikálních soustav jsou otopná tělesa napojena přímo na vertikální potrubí (stoupačky) krátkým přípojným potrubím (přípojkami). V jednotlivých podlažích jsou krátkým přípojným potrubím napojena na jedno vertikální potrubí maximálně dvě otopná tělesa (obr. 4).



Obr. 4 Dvoutrubková soustava vertikální

1.3.3 Hvězdicová soustava

V principu se jedná o horizontální dvoutrubkovou otopnou soustavu s velmi dlouhými přípojkami těles. Uprostřed dispozice objektu je vedeno vertikální potrubí, na které je v každém podlaží napojen podlažní rozdělovač a sběrač. Přípojky otopných těles jsou z jednoho kusu potrubí uložené v chrániče. V případě poruchy lze potrubí vyměnit bez nutnosti bourání podlahy.

1.4 Způsob přívodu a odvodu vody k/z otopných těles

Podle způsobu připojení otopných těles a především pak provedení přívodu a odvodu otopné vody rozlišujeme dvoutrubkové a jednotrubkové otopné soustavy.

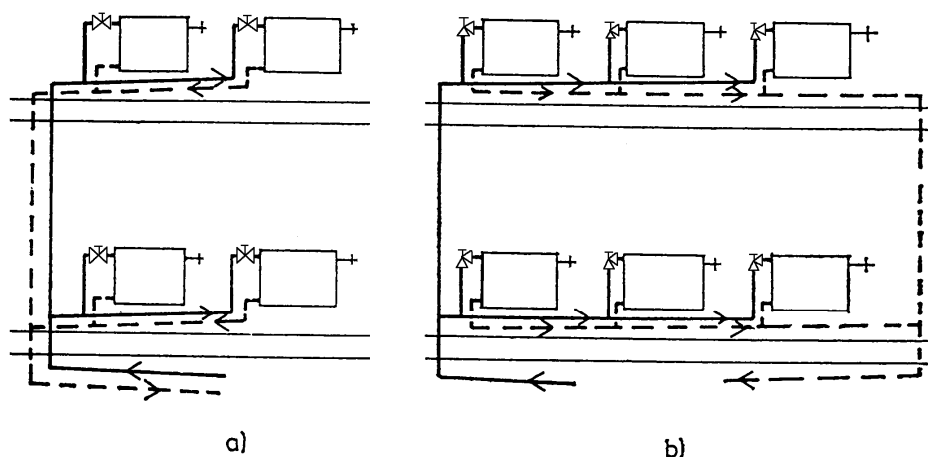
1.4.1 Dvoutrubkové otopné soustavy

U dvoutrubkové otopné soustavy tvoří okruhy otopných těles jednoznačné paralelní větve. Zcela jednoznačně zde rozlišujeme potrubí přívodní, které slouží pouze pro přívod teplotnosné látky k otopným tělesům, a vratné, které slouží pouze pro odvod teplotnosné látky od otopných těles zpět ke zdroji tepla (obr. 1 až 4). Všechna tělesa pracují se „stejnými“ teplotními parametry otopné vody (tepelné ztráty rozvodu, resp. ochlazení vody v rozvodu při návrhu zanedbáváme). Dvoutrubkové otopné soustavy patří k nejpoužívanějším soustavám v ČR.

Podle směru průtoku v přívodním a vratném potrubí a vzájemného vztahu vedení přívodního a vratného potrubí rozlišujeme dvoutrubkové otopné soustavy protiproudé a souproudé.

Protiproudé zapojení se většinou vyznačuje tím, že je vratné potrubí vedeno stejnou montážní cestou, jako potrubí přívodní s opačným směrem proudění otopné vody. Délka okruhů jednotlivých otopných těles se mění v závislosti na vzdálenosti umístění jednotlivých otopných těles. Tato skutečnost znevýhodňuje tělesa umístěná ve vzdálenějších místech od

zdroje tlaku i tepla. Jednotlivé paralelní větve mají vždy stejnou tlakovou ztrátu. Ale my potřebujeme, aby tato stejná tlaková ztráta nastala při námi požadovaných průtocích vody. To znamená, že musíme potrubní síť hydraulicky vyvážit (zaregulovat). Dvoutrubková protiproudá otopná soustava od nás z hlediska tlakového vyvážení vyžaduje největší úsilí.



Obr. 5 Dvoutrubková otopná soustava s horizontálním rozvodem k otopným tělesům:
a) protiproudá b) souproudá

Souproudé zapojení (Tichelmannovo) negativní hydraulické vlastnosti jednotlivých paralelních větví otopných těles eliminuje. Vratné potrubí je vedeno souběžně s přívodním tak, že pro každé místo rozvodu je součet délky přívodního a vratného potrubí konstantní (obr. 5). S výhodou se tohoto zapojení využívá tam, kde je možné rozvod zokružovat a nevzniká místo, kde by byly vedeny tři trubky vedle sebe. Stejně tlakové poměry pro všechny odběry připojené na souproudý rozvod zajišťují i vysokou hydraulickou stabilitu soustavy. I přes poněkud vyšší náklady na materiál (delší rozvody) se této soustavy využívá velmi často právě pro její dobré hydraulické vlastnosti. Souproudé zapojení se proto používá u těch částí otopné soustavy, kde potřebujeme zajistit rovnoměrné zásobování otopnou vodou více míst aniž bychom museli příliš škrtit některé hydraulické větve. Příkladem může být vzájemné propojení více kotlových jednotek, napojení vzduchotechnických jednotek, hlavní ležatý rozvod ke stoupačkám v půdorysně rozsáhlých objektech apod.

1.4.2 Jednotrubkové otopné soustavy

U jednoduché průtočné jednotrubkové otopné soustavy jsou tělesa napojena sériově. Znamená to, že otopná voda protéká postupně jednotlivými otopnými tělesy v okruhu. V úsecích potrubí mezi otopnými tělesy protéká směs přiváděné a vratné vody a nelze tedy jednoznačně stanovit, jedná-li se o přívodní či vratné potrubí. Teplota vody přiváděné do jednotlivých otopných těles postupně klesá, a tím se mění i měrný výkon jednotlivých otopných těles v hydraulické řadě za sebou. Jednotrubkové zapojení vyžaduje přepočítání velikosti každého otopného tělesa podle skutečných teplot otopné vody, daných umístěním tělesa v okruhu.

Jednotrubkové, obzvláště horizontální otopné soustavy, získávají v poslední době pro své mnohé přednosti stále více zájemců. Navrhují se téměř výhradně jako nucené oběhy, které vykazují větší tlakové ztráty.

Jednotrubkové otopné soustavy mohou být **vertikální** (dále jen JVOS) a **horizontální** (JHOS).

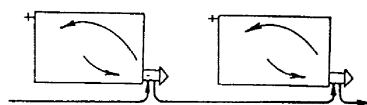
Nejjednodušším a nejlevnějším provedením je jednotrubková otopná soustava (dále jen JOS) s otopnými tělesy napojenými v řadě průtočně za sebou. Otopná voda postupně protéká všechna tělesa, tudíž potřebujeme vyšší dopravní tlak čerpadla. Nevýhodou skýtá rovněž nemožnost místní regulace na otopném tělese. Částečná místní regulace tepelného výkonu je možná u konvektorů s regulační klapkou průtoku vzduchu. Teplota vody se snižuje s každým protékaným tělesem, tak se při požadovaném stejném tepelném výkonu na otopném tělese musí zvětšovat jeho přestupní plocha.

Při výpočtu soustav se většinou volí celkový teplotní spád menší než je obvyklý u dvoutrubkových otopných soustav (místo 20 K pouze 10 K), aby se neprojevila různá střední teplota na tělesech. Zlepšení JOS přineslo řazení těles paralelně s kmenovou trubicou a rovněž použití regulačních armatur. Umožnil se tak jeden ze základních požadavků, tj. místní regulace otopného tělesa.

V dnešní době mají význam především moderní jednotrubkové horizontální otopné soustavy s obtokem či směšovací armaturou, a to s dvoubodovým, nebo jednobodovým napojením. JHOS má svá specifika, která vyžadují složitější způsob navrhování. Nejsou zde uměle zvyšovány hydraulické odpory pro zabezpečení teplotní a hydraulické stability, a tak je žádoucí co nejpřesnější návrh. JHOS se čtyřcestnými armaturami mají menší přenosovou schopnost než soustavy s nízkoodporovou armaturou.



a)



b)

Obr. 6 Schéma napojení otopných těles se čtyřcestnou armaturou:

a) dvoubodové napojení; b) jednobodové napojení

JHOS lze rozdělit podle připojení otopných těles na soustavy s obtokem a soustavy s čtyřcestnými armaturami. Posledně jmenované jsou prováděny podle druhu armatury s jednobodovým či dvoubodovým napojením, jak ukazuje obr. 6. JHOS s obtokem je na obr. 7, přičemž nejrozšířenější připojení je připojení jezdeckým způsobem, kdy otopné těleso je napojeno krátkými přípojkami do spodních růžic přes nízkoodporovou armaturu. Nelze zde použít běžných termostatických regulačních ventilů, neboť jejich velký hydraulický odpor by

neumožnil správné zatékání do otopného tělesa. Proto se volí nízkoodporové armatury, které dovolují jak osazení termopohony či termostatickými hlavicemi, tak ruční ovládání.

K tomu, aby se dosáhla stejná tlaková ztráta v úseku přes otopné těleso a v úseku kmenové trubky pod tělesem, se používalo různého druhu škrcení na kmenové trubce. Patří sem použití třífcestného ventilu, nebo např. regulovaný obtok škrtícím ventilem (obr. 7), což znamenalo poměrně dlouho zaregulovávat soustavu po montáži. Dále sem patří zařazení škrtící clony, která se dá velmi snadno přesně stanovit výpočtem, leč po delší době provozu již není ověřitelná její světlost, tudíž i tlakový úbytek na ní. Již lepším provozním řešením je zúžení kmenové trubky pod otopným tělesem, ale vzhledem k provozu soustavy a jejímu zanášení se nedoporučuje zúžit část kmenové trubky pod tělesem více než o jednu dimenzi. Předposlední způsob škrcení spočívá v částečném zapuštění přípojek do kmenové trubky. Tento způsob není příliš vhodný, jelikož montér může nevhodně ovlivnit hloubku zapuštění. Nověji se používá sací fitinka v kmenové trubce u připojení vratného potrubí od otopného tělesa. Ta sacím účinkem napomáhá průtoku potřebného množství vody přes těleso. Zatékání je možno odečítat z tabulek od výrobce. Ke všem způsobům škrcení obtoku je třeba podotknout, že jsou pouze nouzovým řešením, a proto je vhodné se dále zabývat pouze jezdeckým způsobem zapojení.

U jezdeckého napojení otopných těles je každé otopné těleso v hydraulickém paralelním zapojení s kmenovou horizontální trubkou tak, že mezi přívodním a vratným potrubím k otopnému tělesu protéká v kmenové trubce pod otopným tělesem část vody a zbytek protéká tělesem samotným. V místě spojení zpětné přípojky od tělesa a kmenové trubky dochází ke směšování dvou proudů vody o různé teplotě, a tak k poklesu teploty. Následující otopné těleso v hydraulické řadě pracuje za hydraulicky stejných podmínek, ale tepelně pracuje oproti předchozímu otopnému tělesu s nižší vstupní teplotou. Vstupní teplota do otopného tělesa se tedy postupně těleso od tělesa v hydraulické řadě snižuje, takže předepsaný teplotní spád se musí těleso od tělesa zohlednit velikostí přestupní plochy otopného tělesa. Volbou JOS můžeme zohlednit její výhody a nevýhody.

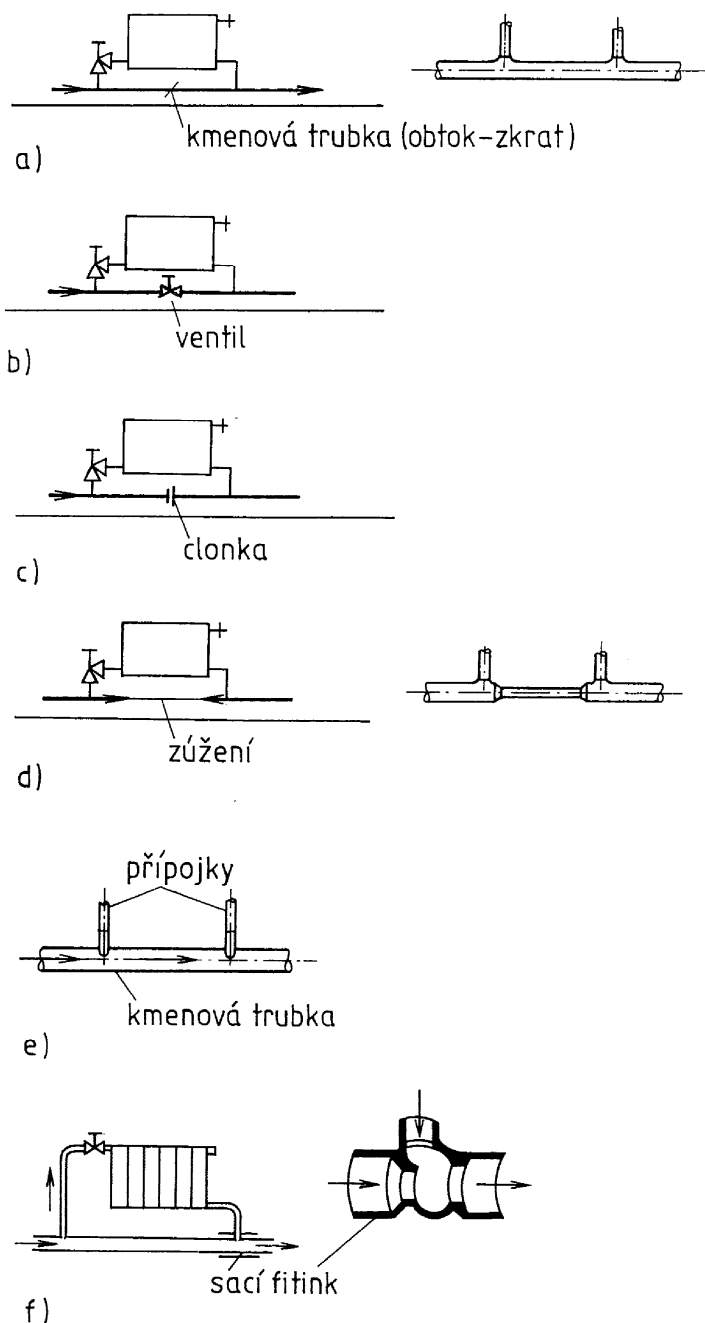
Výhody:

- snadná přizpůsobivost stavební konstrukci;
- minimální počet svislých rozvodů, čím odpadají četné prostupy stropními konstrukcemi, a s tím souvisí i zmenšení přenosu hluku mezi podlažími;
- zmenšení hlavní rozvodné horizontální sítě;
- umožněno kalorimetrické měření spotřeby tepla bytových jednotek jakož i jednotlivých okruhů;
- jednoduchá montáž zároveň se stavbou objektu, jednotlivá podlaží je možno napojovat okamžitě na zdroj tepla;
- usnadněna zónová regulace a uzavírání po patrech či okruzích;
- při rekonstrukcích objektů je možné připojovat další okruhy;
- horizontální rozvody podél obvodových stěn zvyšují jejich povrchové teploty a tak se u nevhodně provedených stěn potlačuje jejich vlhkost.

Nevýhody:

- střední teplota otopného tělesa ve směru proudění jednotrubkovým okruhem neustále klesá, a tím klesá i měrný tepelný výkon otopného tělesa - otopnou plochu je třeba zvětšovat;

- při menším počtu těles na okruhu budou při vyřazení z provozu jednoho z nich ostatní ovlivněna. Čím větší bude počet těles a čím menší ochlazení na okruhu, tím menší bude vzájemné ovlivňování tepelného výkonu jednotlivých těles;
- JVOŠ jsou vhodné pouze pro vysoké domy, neboť se zde projeví nejméně uzavření některého z otopných těles.



Obr. 7 Schéma napojení otopného tělesa s obtokem:

- a) s obtokem (jezdecký způsob napojení), b) s regulovaným obtokem ventilem,
 c) s regulovaným obtokem clonou, d) s regulovaným obtokem zúžením kmenové trubky,
 e) s regulovaným obtokem zasunutím příjpek do kmenové trubky,
 f) s regulovaným obtokem fitinkem v místě napojení zpětné přípojky

Jednotrubkové otopné soustavy můžeme rovněž rozdělit podle provedení a zapojení jednotlivých okruhů.

Podle uživatelů je dělíme na jednotrubkové soustavy:

- s okruhy bytovými;
- s okruhy zónovými.

Podle umístění stoupaček je dělíme na:

- okruhy uzavřené;
- okruhy rozvinuté.

Okruh rozvinutý je výhodnější z hlediska spotřeby potrubí. Je to okruh, kde vertikální přívodní a zpětné potrubí (stoupačky) není vedeno v jednom prostupu. Jinak řečeno, rozdělovač a sběrač nemají společnou skříň. Jak rozdělovač tak sběrač jsou umístěny ve vlastní skříni a na patře zcela na jiných místech.

Bytové okruhy jsou navrhovány tak, že sledují jednotlivé bytové jednotky. Každý byt je na vertikální potrubí (stoupačku) napojen samostatně. Jinak řečeno, rozdělovač i sběrač jsou spolu v jedné skříni, což umožňuje pohodlně nainstalovat kalorimetrické měřiče tepla, a tak provádět kalorimetrické měření spotřeby tepla celé jedné bytové jednotky a zainteresovat tak i uživatele bytu na přímé spotřebě tepla.

Horizontální kmenové potrubí bez spádu je možné vést volně v témže podlaží pod otopnými tělesy či ho vést v podlaze nad nosnou částí podlahy v mazanině, nebo kanálku. Rovněž je výhodné vést potrubí v prostoru mezi nosnou konstrukcí a zavěšeným sníženým stropem nižšího podlaží (obchodní domy, provozovny s výrobou v nejnižších patrech atd.). Možné je i horizontální potrubí vedené nad otopnými tělesy pod parapetem v případech, kdy okna zabírají celou šířku místností. Pak je nutné opatřit každé těleso vypouštěcí armaturou.

K instalaci rozvodů je možné použít přesné ocelové trubky, měděné trubky, plastové či vícevrstvé spojovací potrubí (např. PE-Al-PE), které svou tepelnou roztažností odpovídá potrubí měděnému.

U rekonstrukcí obchází kmenové horizontální potrubí obvodový plášť budovy. U novostaveb upřednostňujeme kladení potrubí na nosnou část podlahy do potěru a přechod z místnosti do místnosti (od tělesa k tělesu) pod dveřmi. V tomto případě mají být jak ocelové tak měděné trubky chráněny plastovým povlakem proti korozi a plastové trubky ochranným pouzdem - provedení trubka v trubce.

2. Pojistné a zabezpečovací zařízení

Otopné soustavy s otevřenou expanzní nádobou, kde je zdrojem přetlaku v soustavě vodní sloupec, který vyvolává hydrostatický tlak, se nazývají **otevřené** otopné soustavy. Tyto soustavy jsou přes hladinu otevřené expanzní nádoby volně spojeny s atmosférou. Vzhledem k omezené možnosti tvorby přetlaku (pouze vodní sloupec) jsou tyto soustavy omezeny i teplotně do 95 °C, aby nedošlo k varu otopné vody ve zdroji tepla.

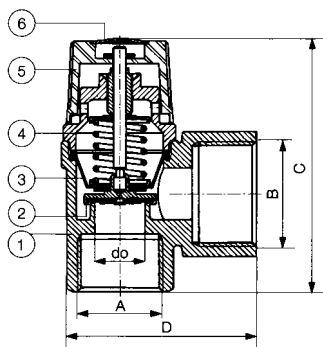
Otopné soustavy, kde je zdrojem přetlaku automatické expanzní zařízení nebo tlaková expanzní nádoba, se označují jako **uzavřené** otopné soustavy, neboť nejsou přímo spojeny s atmosférou. Otevřená expanzní nádoba je zároveň pojistným i zabezpečovacím zařízením.

Definice:

Pojistné zařízení jistí zdroj tepla proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku $p_{h,dov}$

Zabezpečovací zařízení zabezpečuje otopnou soustavu proti náhlým změnám teploty a potažmo tlaků.

2.1 Pojistné zařízení



Podle definice má pojistné zařízení vztah především ke zdroji tepla. Zdroje tepla tak dělíme s ohledem na výpočet pojistného výkonu do dvou skupin. Do skupiny A patří výměníky tepla, ohřívače TV, redukční a směšovací zařízení. Do skupiny B patří kotle.

Výpočet pojistného zařízení vychází ze základního předpokladu, že pojistné zařízení musí být schopno spolehlivě a bezpečně odvést od zdroje tepla pojistný výkon.

Obr. 8 Řez pojistným ventilem

Pojistný výkon určíme na základě znalosti, zda zdroj tepla patří do skupiny A či B. Pak dostáváme pro:

- výměníky tepla

$$\dot{Q}_P = 2 \cdot \dot{Q}_N$$

- ostatní zdroje tepla (kotle)

$$\dot{Q}_P = \dot{Q}_N$$

kde Q_N je jmenovitý výkon zdroje tepla [kW]
 Q_P pojistný výkon [kW]

Pojistný průtok a jemu odpovídající **průřez sedla pojistného ventilu** v případě, že z pojistného ventilu při jeho otevření vytéká voda se určí ze vztahů:

$$\dot{m}_P = \dot{Q}_P, \quad S_0 = \frac{2 \cdot \dot{Q}_P}{\alpha_v \cdot p_{ot}^{0,5}}$$

a v případě, že z pojistného ventilu při jeho otevření odchází pára (či směs voda + pára) se určí ze vztahů:

$$\dot{m}_P = \frac{10^3 \cdot \dot{Q}_P}{r}, \quad S_0 = \frac{\dot{Q}_P}{\alpha_v \cdot K}$$

kde S_0 je průřez sedla pojistného ventilu [mm²]
 \dot{Q}_P pojistný výkon [kW]
 \dot{m}_P pojistný průtok [kg/h]
 r výparné teplo při otevíracím přetlaku pojistného ventilu [Wh/kg]
 α_v výtokový součinitel pojistného ventilu [-]
 p_{ot} otevírací přetlak pojistného ventilu [kPa]
 K konstanta syté vodní páry při p_{ot} [kW/mm²]

(Vážení studenti dejte pozor na výše uvedené jednotky, ve kterých je nutno do vztahů dosazovat !)

Vnitřní průměr pojistného potrubí v mm se určí opět s ohledem na vystupující látku z poloempirických vztahů

▪ pro vodu

▪ pro páru

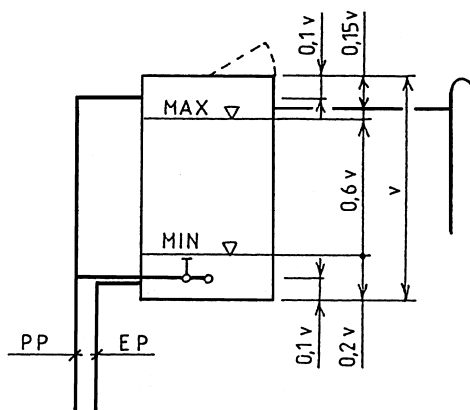
$$d_w = 10 + 0,6 \cdot \dot{Q}_P^{0,5}$$

$$d_D = 15 + 1,4 \cdot \dot{Q}_P^{0,5}$$

2.2 Otevřená expanzní nádoba (pojistné i zabezpečovací zařízení)

Zatímco pro pojistné zařízení (např. pojistné ventily) a jeho umístování, včetně pojistného úseku máme poměrně přísné požadavky, zabezpečovací zařízení (např. tlaková expanzní nádoba) nám dává mnohem větší volnost v instalaci. Protože otevřená expanzní nádoba plní funkci jak pojistného, tak zabezpečovacího zařízení, vztahují se na ni oba dva požadavky.

Otevřené expanzní nádoby se v současnosti téměř neprojektují. Příčinou je možnost zamrznutí v tepelně - izolačně nechráněném půdním prostoru, otevřená hladina vody, která umožňuje odpar otopné vody a tudíž nutnost jejího doplňování v průběhu otopného období, stejně jako sycení otopné vody kyslíkem. Nárůst podílu kyslíku ve vzduchu je v otopné vodě dán dvakrát větším součinitelem rozpustnosti tohoto plynu oproti součiniteli rozpustnosti dusíku. Při reakci kyslíku s kovovými materiály otopné soustavy pak vznikají korozní produkty ohrožující další prvky otopné soustavy či působící provozní potíže.



Obr. 9 Doporučené provedení otevřené expanzní nádoby

Na obr. 9 vidíme schématický nákres doporučeného provedení otevřené expanzní nádoby. Hladina vody (MAX) představuje nejvyšší provozní přetlak p_h . Hladina vody (MIN) představuje nejnižší dovolený přetlak $p_{d,dov}$ a zároveň nejnižší provozní přetlak p_d . Nejvyšší dovolený přetlak $p_{h,dov}$ a zároveň i otevírací přetlak pojistného ventilu p_{ot} představuje výška hladiny v ústí přepadového potrubí.

V obr. 9 je pojistné potrubí označeno PP. Na pojistné potrubí jsou kladeny stejné požadavky jako na pojistný úsek u pojistného zařízení. Po cestě pojistného potrubí, které je napojeno na přívodní větev hlavního potrubí, pokud možno co nejbližší ke zdroji tepla, nesmí být uzavírací armatury. Písmeny EP je označeno expanzní potrubí, které je napojeno na vratnou větev hlavního rozvodu. V expanzním potrubí mohou být umístěny uzavírací armatury, ale za provozu otopné soustavy musíme zajistit jejich otevřenou polohu.

Návrh otevřené expanzní nádoby vychází z požadavku dokonalého zachycení či doplnění expanzního objemu pro maximální změnu teplot v otopné soustavě. Velikost otevřené expanzní nádoby je dána:

$$V_{eo} = 1,6 \cdot V_o \cdot n,$$

kde V_{eo} je objem otevřené expanzní nádoby [l, m³];
 1,6 bezpečnostní součinitel; zvětšení vlastního expanzního objemu o 60 %;
 V_o objem vody v otopné soustavě [l, m³];
 n součinitel zvětšení objemu [-].

Součinitel zvětšení objemu n je vázán na maximální rozdíl teplot vody v otopné soustavě v otopném období. Maximální rozdíl teplot je tak dán projektovanými teplotními parametry na otopné soustavě, jako:

$$\Delta t_{max} = t_{max} - t_{min},$$

kde Δt_{max} je maximální rozdíl teplot [K] určující hodnotu součinitele zvětšení objemu n ;
 t_{max} maximální projektovaná teplota v otopné soustavě [°C];
 t_{min} minimální napouštěcí teplota otopné soustavy, u otopných soustav dosazujeme vždy 10 °C.

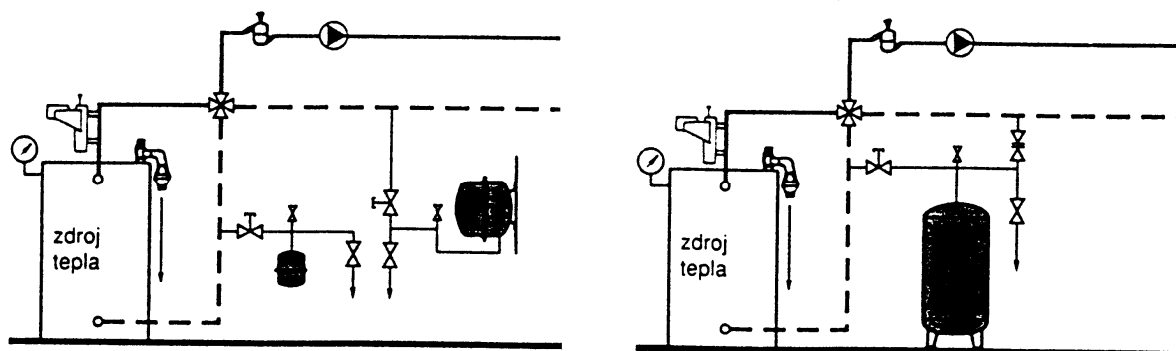
Závislost součinitele zvětšení objemu na maximálním teplotním rozdílu je zanesena v číselné podobě do tab. 1.

Tab. 1 Závislost součinitele zvětšení objemu („roztažnosti vody“) na rozdílu teplot

Δt_{max} [K]	20	30	40	45	50	55	60	65	70
n [-]	0,00401	0,00749	0,01169	0,01413	0,01672	0,01949	0,02243	0,02551	0,02863
Δt_{max} [K]	75	80	85	90	95	100	105	110	115
n [-]	0,03198	0,03553	0,03916	0,04313	0,04704	0,05112	0,05529	0,05991	0,06435

2.3 Tlaková expanzní nádoba (pouze zabezpečovací zařízení)

U otopných soustav uzavřených využíváme tlakovou membránovou expanzní nádobu nebo automatické expanzní zařízení event. opatřené doplňováním upravené vody do otopné soustavy. Tlaková membránová expanzní nádoba již nemá nevýhody spojené s difúzí kyslíku do otopné vody, neboť membrána je vyráběna z vulkanizovaného butylu, který má plnou odolnost proti difúzi vzdušiny. Je však nutné tlakovou expanzní nádobu správně dimenzovat, za studeného stavu otopné soustavy seřídit přetlak na straně vzdušiny a instalovat ji na vhodné místo vzhledem k umístění čerpadla.



Obr. 10 Doporučená instalace membránové a vakové tlakové expanzní nádoby.

Zaměříme se na výpočet (návrh) a seřízení tlakové membránové expanzní nádoby. Výpočet vychází ze vztahu:

$$V_{et} = 1,3 \cdot V_o \cdot n \cdot \frac{1}{\eta},$$

kde	V_{et}	objem tlakové expanzní nádoby [l, m ³];
	1,3	bezpečnostní součinitel; zvětšení vlastního expanzního objemu o 30 %;
	V_o	objem vody v otopné soustavě [l, m ³];
	n	součinitel zvětšení objemu (viz tab. 1) [-];
	η	stupeň využití expanzní nádoby [-].

Stupeň využití expanzní nádoby je ovlivněn otevíracím přetlakem pojistného ventilu $p_{h,dov} = p_{ot}$ a umístěním expanzní nádoby v otopné soustavě (p_d). Při jeho výpočtu musíme dosazovat vždy v absolutních tlacích, tj. přetlak + barometrický tlak. Pak je nejnižší dovolený absolutní tlak $p_{d,dov,A}$ dán součtem nejnižšího dovoleného přetlaku $1,1 \cdot \rho \cdot g \cdot h$ a barometrického tlaku p_B , dle vztahu:

$$p_{d,dov,A} = 1,1 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + p_B,$$

kde	ρ	hustota vody = 1000 kg/m ³ ;
	g	tíhové zrychlení = 10 m/s ² ;
	h	výška vodního sloupce od středu expanzní nádoby do nejvyššího místa otopné soustavy [m];
	p_B	barometrický tlak = 100 kPa;
	1,1	bezpečnostní součinitel pro plné zavodnění soustavy (10 %);
	10^{-3}	přepočet z Pa na kPa.

Stupeň využití expanzní nádoby je dán:

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,dov,A}}{p_{h,dov,A}},$$

kde $p_{h,dov,A} = p_{ot,A}$ nejvyšší dovolený absolutní tlak
 = otevírací absolutní tlak pojistného ventilu [kPa];
 $p_{d,dov,A}$ nejnižší dovolený absolutní tlak [kPa].

Jakmile určíme objem tlakové membránové expanzní nádoby V_{et} vybereme z výrobní řady nejbližší vyšší hodnotu než je námi vypočtená. Např. je – li výrobní řada 18, 25, 35 l a nám výpočtem vyjde 18,2 l, pak volíme tlakovou membránovou expanzní nádobu o velikosti 25 l. U tlakové expanzní nádoby (soustava je stále studená) seřídíme na straně vzdušiny přetlak na hodnotu:

$$p_{et,seř.} = (1,1 \text{ až } 1,3) \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} \quad [\text{kPa}],$$

což je vlastně mírně modifikovaný či lépe zaokrouhlený nejnižší dovolený přetlak $p_{d,dov}$.

Pokud se jedná o nástřešní kotelnu, kde nemáme zaručen přetlak vodního sloupce, počítá se s nejnižším dovoleným přetlakem $p_{d,dov} = 30$ až 80 kPa. Obdobná situace vzniká u jednopodlažních otopných soustav s nástěnným plynovým kotlem. Zde vycházíme z volby nejnižšího dovoleného přetlaku $p_{d,dov} = 80$ až 100 kPa.

3. Teplota teplonosné látky

V souvislosti se stále klesající potřebou tepla pro vytápěné objekty a s využíváním kondenzační techniky, inteligentně řízených oběhových čerpadel s proměnnými otáčkami, vyššími nároky na zajištění tepelné pohody ve vytápěném prostoru atd. stále výrazněji zaznívá otázka ohledně správného návrhu velikosti průtoku teplonosné látky, resp. návrhu potrubní sítě a s ním související návrh optimálního ochlazení (teplotního spádu) na otopných tělesech. Oba parametry, tj. jak průtok, tak ochlazení vody v otopném tělese, jsou spolu neoddelitelně svázány a jednoznačně určují podmínky sdílení tepla u otopných těles instalovaných ve vytápěném prostoru.

Při návrhu otopné soustavy volíme teplotní spád podle typu otopné soustavy, otopných ploch a zdroje tepla.

Teplotní spád u nízkoteplotních a teplovodních soustav se volí v rozmezí 10K až 25K, u horkovodních soustav 40K až 50K. Obvyklé teplotní spády teplovodních soustav jsou 80/60, 75/65, 75/60, 70/55, 70/50, 70/60 °C atd. Teplotní spád 90/70 °C je používán v otopných soustavách s přirozeným oběhem vody, kde je potřeba dosáhnout co největšího vztlaku. U soustav s nuceným oběhem vody není teplotní spád se vstupní teplotou otopné vody 90 °C vhodný vzhledem k velmi malé velikosti otopných těles (při dnešních malých tepelných ztrátách místností) a zároveň není ani použitelný na základě požadavku vyhlášky č. 193/2007 Sb., která určuje jako maximální vstupní teplotu do otopného tělesa 75 °C. Volbou nižší vstupní teploty otopné vody získáme též výkonovou rezervu pro pokrytí nepředvídatelných tepelných ztrát a při dobrých tepelně-technických vlastnostech objektu i správnou velikost otopných těles.

Nízkoteplotní soustavy se obvykle navrhují na teplotní spády 55/45, 55/40, 45/35, 45/30, 35/25 °C.

Vliv volby teplotních parametrů na chování soustavy při ustáleném stavu lze vyjádřit následujícími rovnicemi.

Tepelný výkon otopného tělesa, který je mu dodáván příslušnou částí potrubní sítě při zvoleném teplotním spádu a hmotnostním průtoku se stanoví

$$\dot{Q} = m \cdot c \cdot (t_{w1} - t_{w2}),$$

kde \dot{Q} přenášený tepelný výkon [W];
 m hmotnostní průtok [kg.s⁻¹];
 c měrná tepelná kapacita vody ($c = 4187$ [J.kg⁻¹.K⁻¹]);
 t_{w1}, t_{w2} teplota otopné vody přívodní a vratné [°C].

S rostoucím teplotním spádem soustavy klesá hmotnostní průtok a současně klesá i střední teplota vody v tělese a tím roste teplosměnná plocha otopného tělesa potřebná k předání tepelného výkonu do místnosti.

Můžeme rovněž s určitou nepřesností říci, že se zdvojnásobením teplotního spádu vůči původní hodnotě lze přenášet dvojnásobný tepelný výkon. S určitou nepřesností proto, že nerespektujeme změnu viskozity vody s teplotou a tudíž i změnu hydraulických odporů, chování čerpadla a tak i změnu průtoku.

Tlaková ztráta úseku potrubní sítě roste přibližně s druhou mocninou rychlosti, což naznačuje, že při zdvojnásobení přenášeného tepelného výkonu a zachování stejného teplotního spádu dojde ke zvýšení tlakové ztráty přibližně na čtyřnásobek.

Při volbě teplotního spádu si uvědomme, že výkon otopného tělesa závisí na rozdílu střední teploty otopného tělesa a vnitřní teploty vzduchu.

$$\dot{Q} = k \cdot S \cdot (t_{wm} - t_i),$$

kde \dot{Q} tepelný výkon otopného tělesa [W];
 k součinitel prostupu tepla tělesem [W.m⁻².K⁻¹];
 S teplosměnná plocha tělesa na straně vzduchu [m²];
 t_{wm} střední teplota vody v otopném tělese [°C];
 t_i vnitřní výpočtová teplota [°C]

Samostatně je třeba posuzovat jednotrubkové horizontální otopné soustavy. Zde se v hydraulické řadě za sebou neustále snižuje střední teplota vody na tělesech, a tak při požadovaném stejném výkonu roste i jejich velikost. Zároveň se při malém počtu těles v okruhu ztlačně projevuje regulační zásah u jednoho tělesa i na ostatních. Z těchto důvodů se u jednotrubkových horizontálních otopných soustav volí teplotní spád 10 až max. 15 K.

Přirozeně jsou jak pro teplotní spád, tak pro teplotu vstupní vody dány určité hranice. Termostatické regulační ventily musí být schopny při velkém teplotním spádu regulovat malé

průtoky. Jsme rovněž omezeni velikostí otopných těles, která musí pokrýt tepelnou ztrátu, a jejichž střední teplota by měla odpovídat bilančním požadavkům vytápěného prostoru.

Na základě rozboru dříve uvedeného ve smyslu efektivního provozování otopné plochy a optimálního příkonu oběhového čerpadla se teplota přívodní vody pohybuje od 50 do 60 °C a teplotní spád od 15 do 20 K jako doporučené hodnoty. Tyto hodnoty odpovídají i bilančním požadavkům vytápěného prostoru při dnes uznávaných tepelně-technických parametrech objektů.

Je omylem se domnívat, že do nízkoteplotních otopných soustav patří pouze podlahové a stěnové vytápění. Otopné soustavy s otopnými tělesy lze při dnešních teplo-technických vlastnostech obvodových konstrukcí bez problémů navrhovat jako nízkoteplotní aniž bychom měli problémy s velikostí otopných těles.

4 Materiál potrubního rozvodu

V době navrhování otopné soustavy je nutné zohlednit materiál, ze kterého bude potrubní síť provedena. Zásadní odlišnost v navrhování soustavy z plastů nebo kovů (oceli, mědi) je dána odlišnými mechanickými vlastnostmi těchto materiálů. Potrubí z kovových materiálů je možné vést volně před stěnami bez dalších úprav, zatímco plastové rozvody je nutné chránit proti mechanickému poškození. Pokud se tyto vlastnosti zohlední již při návrhu, jsou obě řešení souměřitelná a s výhodou lze využít charakteristických vlastností použitých materiálů.

Otopná soustava musí být chráněna proti korozi z venkovní i vnitřní strany. Podle druhu použitého materiálu v otopné soustavě se pH hodnoty vody upravují takto:

- u ocelových trubek je nejvhodnější pH = 10;
- měděným trubkám vyšší hodnota pH neškodí, ale nedoporučuje se.

Většina škod v otopných soustavách vyvolaných korozi je způsobena trvalou přítomností kyslíku v otopné vodě. K tomu, abychom zamezili vnikání kyslíku do otopné vody, je účelné:

- ve všech místech otopné soustavy zajistit přetlak (přetlak proti atmosféře);
- u otevřené expanzní nádoby volit tvar, který zajistí minimální plochu hladiny vody;
- odvzdušňovací potrubí zakončit odvzdušňovací jímkou a nikoli přímo automatickým odvzdušňovacím ventilem.

Pokud se kyslík neodstraní z otopné vody, spotřebuje se na korozi zařízení. Jeden gram kyslíku zoxiduje 2,6 gramů železa za vzniku 1,4 l vodíku, který se musí ze soustavy odvést odvzdušněním. Nejvíce kyslíku obsahuje otopná voda po napuštění soustavy, neboť voda z vodovodního řádu obsahuje asi 8 mg O₂/l.

Volba materiálu potrubí je rozhodnutím, které podmiňuje další koncepční řešení otopné soustavy. Návrh musí respektovat především fyzikální vlastnosti jednotlivých materiálů a tudíž jejich použitelnost pro konkrétní aplikace. Základními fyzikálními vlastnostmi, kterých je potřebné si všimnout, je: mechanická pevnost a odolnost, teplotní odolnost, teplotní délková roztažnost, odolnost vůči korozi a montážní omezení (především spojování a vedení potrubí). Plastové potrubí např. nemůže být vedeno volně z důvodu malé mechanické odolnosti a vždy je třeba ho buď podepřít další podpůrnou konstrukcí (korýtka, žlabky) nebo zabudovat do konstrukce (podlaha, drážky ve stěně apod.).

4.1 Potrubí z oceli

Ocelové trubky jsou tradičním materiálem, používaným na potrubní sítě ve vytápění. Na potrubí se používá oceli třídy 11.353.0. Nejčastěji se používají ocelové trubky závitové bezešvé do průměru cca 50 mm. Trubky se ve výkresové dokumentaci označují jmenovitou světlostí DN (dříve v anglických palcích např. 3/8“) pro větší průměry se používají trubky bezešvé hladké.

Tab. 2 Technické údaje ocelových trubek

Druh	Jmenovitá světlost		Vnější průměr	Tloušťka stěny	Vnitřní průměr	Objem 1 m trubky	Světlý průřez	Povrch 1 m trubky
	“	DN	mm	mm	mm	dm ³ /m	m ² · 10 ⁻⁴	m ² /m
Bezešvé závitové	3/8	10	17,10	2,35	12,40	0,1208	1,2076	0,0537
	1/2	15	21,40	2,65	16,10	0,2036	2,0358	0,0672
	3/4	20	26,90	2,65	21,60	0,3664	3,6644	0,0845
	1	25	33,70	3,25	27,20	0,5811	5,8107	0,1059
	5/4	32	42,40	3,25	35,90	1,0122	10,122	0,1332
	6/4	40	48,30	3,25	41,80	1,3723	13,723	0,1517
	2	50	60,20	3,65	52,90	2,1979	21,979	0,1891
Bezešvé hladké		50	57,00	2,90	51,20	2,0589	20,589	0,1791
		50	60,30	2,90	54,50	2,3328	23,328	0,1894
		60	70,00	3,20	63,60	3,1769	31,769	0,2199
		65	76,00	3,20	69,60	3,8046	38,046	0,2388
		80	89,00	3,60	81,80	5,2553	52,553	0,2796
		100	108,00	4,00	100,00	7,8540	78,539	0,3393
		125	133,00	4,50	124,00	12,076	127,63	0,4178
		150	159,00	4,50	150,00	17,671	176,72	0,4995
		200	219,00	6,30	206,40	33,459	334,59	0,6880
		250	273,00	7,00	259,00	52,685	526,85	0,8577
		300	324,00	8,00	308,00	74,506	745,06	1,0179
	350	377,00	9,00	359,00	101,22	1012,2	1,1844	

Trubky závitové bezešvé mají silnější stěnu, aby bylo možno na vnějším povrchu vyříznout závit a trubky tak spojovat závitovými tvarovkami. Ocelové potrubí se však mezi sebou ve vytápění spojuje zásadně svařováním. V otopných soustavách se nejčastěji uplatňují trubky DN 10 až DN 50 (3/8 až 2“). Trubky bezešvé hladké se používají v rozsahu průměrů od DN 15 do DN 350. U důležitých aplikací s vyššími přetlaky je třeba dát pozor na tloušťku stěny, neboť tyto trubky se vyrábějí pro různé jmenovité tlaky a tudíž i v řadách s různou tloušťkou stěn. U teplovodního normálního vytápění tento problém odpadá, protože je naprosto dostačující základní řada s nejmenší tloušťkou stěny.

Ocelové potrubí se spojuje svařováním zpravidla elektrickým obloukem nebo plamenem. Po celé délce musí být opatřeno ochranným nátěrem a tam, kde prochází nevytápěným prostorem, opatřeno tepelnou izolací. Výhodná je rovněž jeho malá teplotní délková roztažnost. Součinitel teplotní délkové roztažnosti α [1/K] se pohybuje okolo hodnoty $1,2 \cdot 10^{-5}/K$. Znamená to, že budeme-li mít ocelové potrubí dlouhé 1 m a zahřejeme-li ho z 0 na 100 °C, prodlouží se o 1,2 mm. Pro hliník by to představovalo 2,38 mm, pro měď 1,65 mm a pro plast v rozmezí 15 až 23 mm. Základní technické údaje ocelových trubek najdeme v tab. 2.

4.2 Potrubí z mědi

Poměrně dlouhou dobu patřila měď mezi strategické materiály, a proto širší použití v otopných soustavách nepřicházelo v úvahu. V posledních letech jsou však měděné trubky hojně využívaným instalačním materiálem.

Použití mědi je vhodné u rozvodů studené i teplé vody, pro rozvody otopných soustav, solární zařízení, rozvody oleje, plynů a rovněž i v chladírenství. Z uvedených oblastí použití je patrná mnohostrannost využití mědi, kterou podmiňují její fyzikální vlastnosti.

Dnes používané měděné trubky jsou vyráběny moderní technologií z fosforové dezoxidované, kyslíkuproste mědi. Vnitřní povrch trubky je prostý uhlíku, měkké a polotvrdé trubky jsou při výrobě předběžně naoxidovány. Vnitřní povrch trubek je hladký, bez tuků a uhlíku. Podle stavu pevnosti lze měděné trubky vyskytující se na našem trhu rozdělit do tří skupin a to na měkké, polotvrdé a tvrdé. Měkké trubky se dodávají ve svitcích, polotvrdé a tvrdé většinou v délce 5 m.

Dovolený provozní přetlak a teplota závisí na zvolené montážní technologii a pevnosti v tahu. Měděné trubky Cu - DHP mají použití do maximální provozní teploty 250 °C. Při pájení natvrdo a při svařování se v důsledku vysokých pracovních teplot materiál v okolí ohřevu vyžihá do měkka. Proto uváděné provozní tlaky platí jak pro měkké, tak i pro polotvrdé a tvrdé měděné trubky spojované bezfitinkovým pájením natvrdo.

Při hydraulických výpočtech potrubních sítí je důležitou hodnotou měrná tlaková ztráta R (Pa/m). Tato veličina závisí na součiniteli třecí ztráty λ , který v přechodové a turbulentní oblasti závisí na relativní drsnosti potrubí k/d . Jinak řečeno, kvalita vnitřního povrchu trubky má vliv na proudění tekutiny v trubce a tím i na tlakovou ztrátu. Absolutní drsnost potrubí je výška nerovnosti povrchu trubky do hloubky materiálu či výška výstupku na povrchu označovaná k a udávaná v mm. Relativní drsnost je pak poměr k/d . Zavedeme - li pojem relativní hladkost stěny trubky jako převrácenou hodnotu relativní drsnosti, pak u měděných trubek je hodnota relativní hladkosti podstatně větší než u ocelových trubek, čímž je měrná tlaková ztráta měděných trubek nižší oproti trubkám ocelovým.

Při montáži respektujeme tepelnou roztažnost mědi. Součinitel teplotní délkové roztažnosti dosahuje hodnoty $1,65 \cdot 10^{-5}/K$, proto je nutné u teplovodních otopných soustav uvažovat teplotní délkovou kompenzaci více než u trubek ocelových. Proto při návrhu trasy je zapotřebí uvážit nejvhodnější vedení či instalovat kompenzační prvky. Pevné body se nemontují na konec rovného dlouhého úseku, rovněž kompenzační rameno nesmí být příliš krátké. Potrubí, které je vedeno pod omítkou, má být izolováno a u kolen či odbočení se přidává více izolace než u rovné trubky. Při průchodu stěnou či stropem je vhodné průchod řešit pomocí ochranné trubky většího průměru. Abychom předešli turbulentním vlivům, měli bychom dodržet doporučené hodnoty rychlostí (0,5 až 0,6 m/s).

Vzhledem k povrchové korozi by měla mít voda pH - hodnotu vyšší než 6. Pravděpodobnost výskytu koroze se zvyšuje se stoupajícím obsahem železa ve vodě nad hodnotu 0,1 mg/l a manganu nad hodnotu 0,05 mg/l. Hodnoty obsahu kyslíku v otopné vodě udávané výrobcí kotlů či otopných těles jsou nižší než maximální hodnoty pro měděné trubky.

U otopných soustav provedených v mědi bychom měli upřednostňovat tlakovou exp. nádobu a otopná tělesa navrhovat ocelová, měděná či litinová.

Nejrozšířenější způsob spojování měděných trubek je kapilární pájení. Měkké pájení se může používat pro rozvody pitné vody, TV či teplovodní otopné soustavy vyjma podlahového vytápění. S výhodou se zde používá měkká pasta, jejíž zbytky jsou rozpustné ve vodě, tedy odstranitelné propláchnutím soustavy.

Tvrdé pájky se používají v místech vystavených vysokému tepelnému zatížení či vysokému mechanickému namáhání (vibrace). Tvrdé pájení by se mělo používat výhradně u horkovodních otopných soustav, podlahového vytápění, rozvodů oleje a rozvodů technických a zdravotnických plynů. Nejběžnější tvrdou pájkou je fosforová pájka 94/6 neobsahující stříbro a fosforová pájka obsahující stříbro s označením L - CuAg2P.

4.3 Potrubí z plastů

Plasty jsou makromolekulární látky, které se získávají chemickou přeměnou přírodních látek, nebo synteticky z organických sloučenin. Vzhledem ke způsobu technologického zpracování a chování plastů za tepla je dělíme na termoplasty, duroplasty a elastomery. Termoplasty lze tepelně vratně zpracovávat a upravovat. Duroplasty (termosety) nelze teplem tvářet ani svařovat. Zvláštní skupinu mezi duroplasty tvoří termoelasty, které si ponechávají ohebnost, ale nedají se tepelně tvarovat ani svařovat. Hlavním představitelem termoelastů je síťovaný polyetylen. Elastomery se mechanickým zatížením značně deformují. Po odlehčení se opět vracejí do původního stavu. Nelze je tepelně tvarovat a jsou nesvařitelné. Do této skupiny patří syntetické kaučuky.

Mezi plasty, použitelné pro rozvody teplovodních otopných soustav můžeme zařadit:

- síťovaný polyetylén (PEX, VPE),
- polybuten (polybutylen, polybuten-1, PB),
- statický polypropylen (PP-R, PP-RC, PP-3),
- vícevrstvá potrubí s kovovou vložkou.

Výchozí surovinou **Síťovaného polyetylenu PEX** je většinou vysokohustotní polyetylén, u něhož se speciálními chemickými nebo fyzikálními postupy dosáhne „příčného“ zesíťování molekulových řetězců. Výsledný produkt má velmi dobré mechanické vlastnosti, vysokou odolnost proti šíření trhlin, vysokou houževnatost a velmi dobrou tlakovou odolnost za vyšších teplot. Beztlaková teplotní odolnost přesahuje 100 °C. Síťovaný polyetylén se nedá svařovat a lepit. Jediným způsobem spojování zůstávají mechanické spojky. Síťovaný polyetylén je určen především pro otopné soustavy a přepravu TV. U otopných soustav bychom měli dávat přednost PEXa.

Z hlediska návrhu potrubní sítě je velmi důležitá délková teplotní roztažnost. Součinitel délkové teplotní roztažnosti se u nejpoužívanějších plastů pohybuje od 15 do 23.10⁻⁵/K. Teplotní roztažnost je u plastů desetinásobně větší než u oceli nebo mědi. Pokud nebude projektant tuto vlastnost plastů plně respektovat, způsobí si mnoho problémů, které je možno odstranit pouze novou pokládkou potrubí. Plastové trubky se značí v milimetrové řadě. Značení by mělo obsahovat: jméno výrobce, označení materiálu, vnější či vnitřní rozměr x tloušťka stěny, provozní tlak / teplotu, datum výroby, název trubky a eventuálně registrační číslo.

Ležatá potrubí lze vést i v instalačních kanálech pod podlahou, popř. ve stěně, podlaze, stropu apod. Potrubí je vedeno ve žlebech, v objímkách, event. v ozdobné krytce. Při řešení délkové roztažnosti připadá nejčastěji v úvahu změna trasy, nebo využití U kompenzátorů, které mohou být vytvořeny jak ve vodorovné tak ve svislé rovině. Lze využít rovněž smyčkové kompenzátory, ale jejich použití v ležatých rozvodech není příliš obvyklé. Pro horizontální (ležaté) rozvody dvoutrubkových vertikálních soustav je nutné používat vedení ve žlebech.

Vertikální potrubí (stoupačky) je vedeno z ležatého potrubí do nejvyššího podlaží a po trase z něj odbočují přípojovací potrubí. V nejvyšším místě je potrubí zakončeno speciální armaturou, nebo záslepkou a sahá min. 1 m nad poslední připojení. I na stoupacím potrubí je třeba respektovat dilatace. Po trase stoupačky se rozmístí kluzná uložení podle maximálních vzdáleností podpor. U stoupaček pod tři podlaží se počítá délková změna na celou délku stoupačky a kompenzace je v každém místě připojení navazujícího potrubí. U stoupaček pro tři a více pater je nutné vložit po trase pevné body, které zkrátí vzdálenosti pro výpočet délkových změn. Mezi pevnými body musí být vyřešena kompenzace délkové roztažnosti potrubí. U ohebných potrubí se kompenzace řeší nejčastěji smyčkovými kompenzátory, jinak změnou trasy, nebo U kompenzátozem.

Snad nejvíce využívaným plastovým potrubím ve vytápění je síťovaný polyetylén u podlahového, stěnového či stropního vytápění. Pro soustavy podlahového vytápění je nejdůležitější vlastností ohebnost potrubí, protože jen potrubí položené v podlahové konstrukci dostatečně hustě zaručuje dostatečný tepelný výkon a rovnoměrné rozložení teplot. U síťovaného polyetylénu pro podlahové vytápění bychom měli vždy volit třídu a, tj. PEXa.

5. Příklady řešení otopných soustav

Již jsme se zmínili o tom, že volba příslušného druhu otopné soustavy závisí na mnoha faktorech. Mezi faktory, které bychom měli zohlednit, patří druh budovy, doba, po kterou je využívána, počet osob a míra jejich oblečení, dostupný druh paliva, zátěž životního prostředí, pořizovací a provozní náklady včetně určitých lokálních odlišností.

Naplněním hodnot parametrů určité otopné soustavy získáme jednoznačné označení daného řešení. Toto označení není samoúčelné – pokud totiž lze navrženou soustavu jednoznačně označit, je velmi pravděpodobné, že bude možné provést její hydraulický výpočet některou ze známých metod a lze předpokládat, že soustava se bude chovat podle předpokladů projektu. Pochopitelně je možné kombinovat různé soustavy v jednom objektu, ale o to složitější a důmyslnější je řešení hydraulických poměrů v soustavě a regulační opatření.

Mezi příklady nejvíce rozšířených otopných soustav patří:

- Dvoutrubková otopná soustava vertikální se spodním rozvodem s přirozeným oběhem vody, teplovodní, otevřená a protiproudá;
- Dvoutrubková otopná soustava vertikální s horním rozvodem s přirozeným oběhem vody, teplovodní, otevřená a souproudá;
- Dvoutrubková otopná soustava horizontální s kombinovaným etážovým rozvodem s přirozeným oběhem vody, teplovodní, otevřená a protiproudá;
- Jednotrubková otopná soustava vertikální s kombinovaným rozvodem s přirozeným oběhem vody, teplovodní, otevřená a s napojením otopných těles v obtoku;

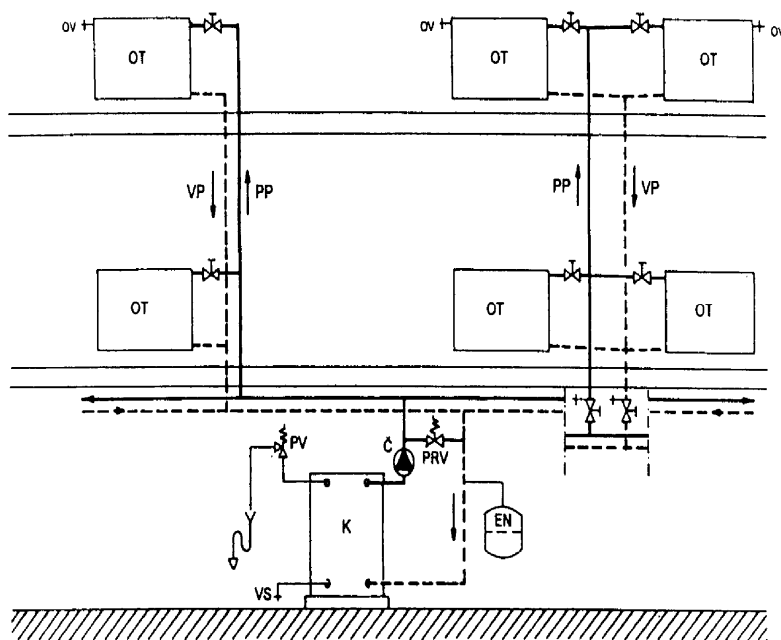
- Dvourubková otopná soustava vertikální se spodním rozvodem s nuceným oběhem vody, teplovodní, uzavřená a souproudá;
- Dvourubková otopná soustava horizontální, etážová, s nuceným oběhem vody, teplovodní, uzavřená a souproudá;

5.1 Dvourubková otopná soustava vertikální se spodním (nebo horním) rozvodem s nuceným oběhem vody, teplovodní, uzavřená a protiproudá (nebo souproudá)

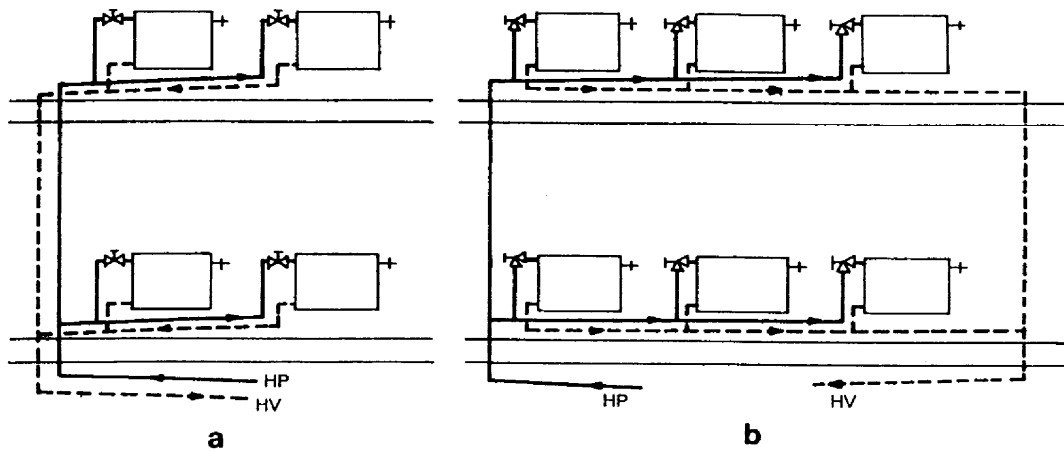
Provedení dvourubkových vertikálních otopných soustav se spodním či horním rozvodem jsou shodná s provedeními popsanými u přirozeného oběhu. Na obr. 11 je znázorněno schéma dvourubkové otopné soustavy se spodním rozvodem, napojené na kotel s nuceným oběhem vody. Soustava je řešena jako uzavřená a je zabezpečena tlakovou expanzní nádobou s membránou. Tato expanzní nádoba zajišťuje vyplnění celé soustavy vodou s požadovaným přetlakem, a zároveň vyrovnává změny objemu vody v soustavě. Proti nepřipustnému překročení maximálního dovoleného přetlaku je u kotle instalován pojistný ventil.

Celá otopná soustava je odvzdušněna přes nejvýše položená otopná tělesa odvzdušňovacími ventily. U dnešních soustav s nuceným oběhem vody se k zajištění místní regulace používají termostatické radiátorové ventily. Při osazení těchto ventilů je vhodné, abychom zajistili správné hydraulické poměry v potrubní síti, což znamená instalovat na stoupačky či pro jednotlivé stoupačkové sekce regulátory tlakové diference, regulátory objemového průtoku či přepouštěcí ventily. Rovněž je nanejvýš rozumné při instalaci termostatických radiátorových ventilů zajistit odvzdušnění každého otopného tělesa odvzdušňovacími ventily. Odvzdušnění přes nejvýše položené těleso nefunguje, neboť malé průtočné průřezy termostatických radiátorových ventilů neumožní zpětný únik vzduchu proti směru proudění vody.

U dvourubkových otopných soustav lze projektovat rovněž horizontální rozvod k otopným tělesům, a to jak souproudý (Tichelmann) tak protiproudý. Schémata těchto zapojení znázorňuje obr. 12.



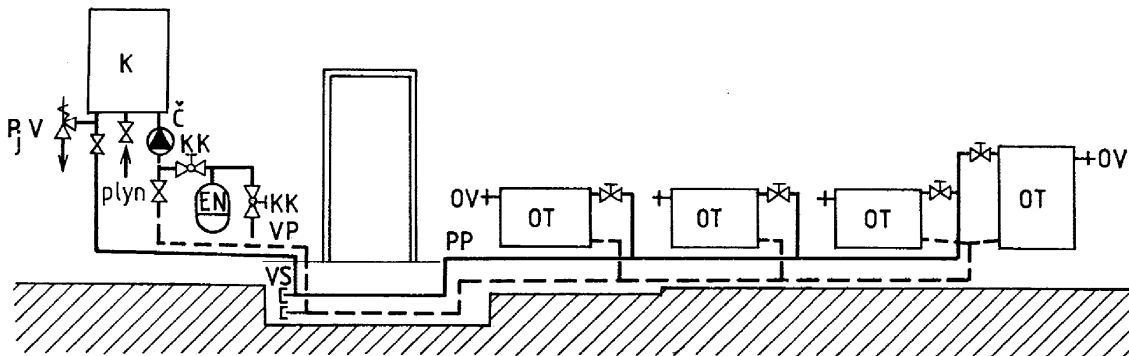
Obr. 11
Dvourubková otopná soustava se spodním rozvodem a nuceným oběhem vody
EN - expanzní nádoba; PRV - přepouštěcí ventil; VS - vypouštění soustavy; OT - otopné těleso; VP - vratné potrubí; PP - přívodní potrubí; K - kotel; OV - odvzdušňovací ventil; PV - pojistný ventil; Č - oběhové čerpadlo



Obr. 12 Dvoutrubkové zapojení otopných těles s horizontálním rozvodem k tělesům
 a) protiproudé zapojení HP - hlavní přívodní potrubí
 b) souproudé zapojení (Tichelmannovo) HV - hlavní vratné potrubí

5.2 Dvoutrubková otopná soustava horizontální etážová, s nuceným oběhem vody, teplovodní, uzavřená a protiproudá

Bytové vytápění je vhodné pro soustavy s kotli na kapalná a plynná paliva a s elektrokotli, které umožňují automatickou regulaci soustavy. Automatická regulace zajišťuje hospodárnost provozu a snižuje nároky na obsluhu. V dnešní době se etážové vytápění s nuceným oběhem vody stává moderním a komfortním zařízením, u kterého se používají maloobjemová otopná tělesa, která zmenší celkový vodní objem soustavy a umožní tak rychlou odezvu soustavy na regulační zásah. Zdroj tepla se reguluje automaticky v závislosti na venkovní teplotě (ekvitermně), nebo na teplotě vzduchu ve vytápěných místnostech.



Obr. 13 Bytová dvoutrubková otopná soustava
 EN - expanzní nádoba; VS - vypouštění soustavy; PV - pojistný ventil;
 OT - otopné těleso; VP - vratné potrubí; PP - přívodní potrubí; K - kotel;
 OV - odvzdušňovací ventil; Č - oběhové čerpadlo

Dvoutrubková horizontální otopná soustava otevřená se již nepoužívá a jednoznačně se dává přednost soustavě uzavřené s tlakovou expanzní nádobou s membránou (obr. 13). Expanzní nádoba s membránou, oběhové čerpadlo či pojistný ventil bývají již součástí kotle. Přednost se dává použití nástěnných kotlů, které minimalizují prostor potřebný pro zdroj tepla.

Rozvodné potrubí vychází z výpočtů o malých průměrech, čím otopná soustavy nenarušuje vzhled interiéru. Šťastným řešením pro interiér je vedení potrubí pod ozdobnou lištou v kanálku či u novostaveb v mazanině na nosné konstrukci podlahy. Potrubí se volí ocelové, měděné či plastové, přičemž každé má své nevýhody a výhody plynoucí z použitého materiálu. Nejvíce se dnes používá pro tyto rozvody potrubí plastové, vícevrstvé, měděné a ocelové bezešvé trubky.

6. Hydraulický výpočet potrubních sítí otopných soustav

Potrubní sítě otopných soustav slouží k dopravě teplotonosné látky ke spotřebiči a zpět od spotřebiče ke zdroji tepla. Hydraulický výpočet otopných soustav je jen úzkou částí z širšího oboru potrubní techniky.

Teplotonosnou látkou je převážně teplá voda, zřídka pak i pára. Tato skutečnost umožňuje zjednodušit obecně platné složité výpočty potrubí a nahradit je pro ruční výpočet nomogramy a tabulkami.

Cílem je navrhnout průměry potrubí, jmenovité světlosti armatur, popř. nastavení regulačních orgánů tak, aby při požadovaném průtoku byla celková tlaková ztráta okruhu stejně velká jako dispoziční rozdíl tlaků (účinný tlak, dopravní tlak čerpadla). Při výpočtu tlakových ztrát dělíme okruh na jednotlivé úseky, tedy části potrubní sítě s neměnným hmotnostním průtokem. Každý úsek vykazuje tlakové ztráty třením a tlakové ztráty místními odpory.

6.1 Základní vztahy

Tlaková ztráta třením

Při proudění kapalin, nebo plynů v potrubí dochází na délce potrubí l k tlakovému úbytku dp a platí tedy vztah:

$$\frac{dp}{dl} = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho, \quad (6.1)$$

kde λ - součinitel tření (třecí ztráty) [-];
 w - střední rychlost v průřezu úseku [m/s];
 d - vnitřní průměr potrubí [m];
 ρ - hustota vody [kg/m³] - při výpočtu celé otopné soustavy se pracuje s hustotou odpovídající střední teplotě vody v soustavě t_m .

Pro nestlačitelné kapaliny platí:

$$\frac{p_2 - p_1}{l} = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = R, \quad (6.2)$$

kde R - tlaková ztráta třením jednoho metru přímé části úseku, kterou nazýváme měrnou tlakovou ztrátou či tlakovým spádem [Pa/m];
 l - délka počítaného úseku potrubí [m].

Problematické může někdy být určení součinitele tření λ , jehož závislost na Re a d/k znázorňuje obr. 14. Součinitel λ je funkcí pěti proměnných: průměru potrubí d , rychlosti proudění w , hustoty ρ , absolutní povrchové drsnosti k a dynamické viskozity η .

$$\lambda = f(d, w, \rho, k, \eta)$$

Budeme-li aplikovat teorii podobnosti, zavedeme Reynoldsovo kritérium (číslo) Re a relativní drsnost k/d (či relativní hladkost d/k), čím se závislost zjednoduší na:

$$\lambda = f\left(Re, \frac{k}{d}\right),$$

kde

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\eta} \quad (6.3)$$

Součinitel λ lze určit graficky s dostatečnou přesností z diagramu na obr. 14, nebo poččetně z na obrázku uvedených vztahů. Ještě je zde otázka správné volby absolutní drsnosti k . Tato hodnota se pohybuje ve značném rozsahu a proto se v tabulkách uvádějí hodnoty tlakového spádu pro absolutní drsnost stěn $k = 0,1$ mm (pro vnitřní potrubní sítě), $k = 0,2$ mm (pro venkovní dálkové rozvody) a $k = 0,5$ mm (pro parní rozvody).

Úpravou rovnice (6.2) získáme ztrátu třením pro úsek potrubí:

$$\Delta p_{zt} = p_2 - p_1 = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = R \cdot l, \quad (6.4)$$

kde Δp_{zt} - tlaková ztráta třením [Pa];
 p_2 - tlak na začátku úseku potrubí [Pa];
 p_1 - tlak na konci úseku potrubí [Pa].

Tlakový spád potřebujeme mnohdy vyjádřit spíše v závislosti na hmotnostním průtoku:

$$m = \frac{Q}{c \cdot \Delta t}, \quad (6.5)$$

kde Q - přenášený tepelný výkon [W];
 c - měrná tepelná kapacita [J/kg.K];
 Δt - jmenovitý teplotní rozdíl [K].

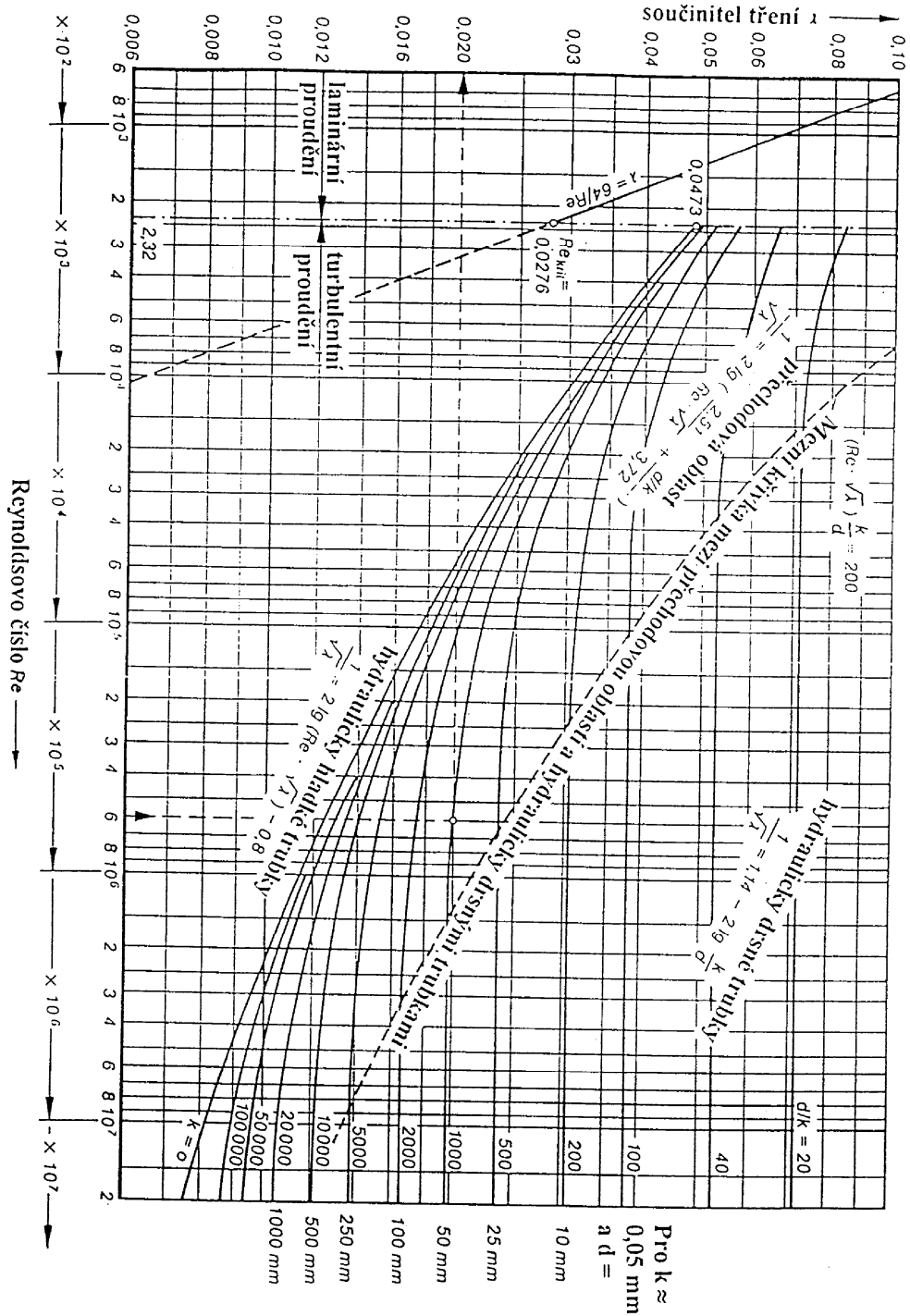
Za rychlost w pro určitý hmotnostní průtok látky m dosadíme

$$w = \frac{m}{\rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} \quad (6.6)$$

a získáme vztah pro tlakový spád R v závislosti na hmotnostním průtoku

$$R = \frac{0,811 \cdot \lambda \cdot m^2}{\rho \cdot d^5} \quad (6.7)$$

Při výpočtu potrubní sítě bychom neměli zapomenat na vliv jednotlivých veličin na tlakovou ztrátu. Tlaková ztráta se mění s druhou mocninou hmotnostního průtoku (m^2), s pátou mocninou vnitřního průměru (d^5), nepatrně s teplotou vody a nezanedbatelně s drsností trubek k .



Obr. 14 Součinitel tření

Tlakové ztráty místními (vřazenými) odpory

Kromě hydraulických ztrát třením vznikají v potrubí rovněž tzv. ztráty v místních odporech (armatury, ohyby, shybky, obchozy, přechody apod.), které jsou určeny vztahem:

$$\Delta p_{zm} = \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = Z, \quad (6.8)$$

kde Δp_{zm} , Z - tlaková ztráta místními odpory [Pa];
 ξ - příslušný součinitel místního odporu [-];
 n - počet místních odporů v úseku;
 w - střední rychlost proudění v průřezu úseku [m/s];
 ρ - hustota vody [kg/m³].

Tlaková ztráta místními odpory se ve výpočetní praxi označuje Z a je rovněž tabulkově zpracována. Dosadíme-li do rovnice (6.8) vztah (6.6) získáme opět závislost na hmotnostním průtoku

$$\Delta p_{zm} = Z = \frac{0,811 \cdot \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot m^2}{\rho \cdot d^4}. \quad (6.9)$$

Celková tlaková ztráta

Celková tlaková ztráta úseku je součtem tlakových ztrát třením a místními odpory v úseku a celková tlaková ztráta okruhu je součtem celkových ztrát úseků.

$$\Delta p_{zu} = \Delta p_{zt} + \Delta p_{zm} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho + \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

$$\Delta p_{zu} = R \cdot l + Z \quad (6.10)$$

Při výpočtu vnějších sítí je vhodné najít ekvivalentní délku k vřazeným odporům l_{ekv} , která se získá porovnáním výrazů pro ztrátu třením (6.4) a pro ztrátu místními odpory (6.8).

$$l_{ekv} = \sum \xi \cdot \frac{d}{\lambda} \quad (6.11)$$

Celková tlaková ztráta úseku se určí jako součin měrné tlakové ztráty R a výpočtové délky L , která vznikne součtem skutečné délky l a ekvivalentní délky l_{ekv} .

$$\Delta p_{zu} = R \cdot (l + l_{ekv}) = R \cdot L \quad (6.12)$$

6.2 Bilanční tlakové rovnice

Bilanční tlakové rovnice definují rovnost mezi tlakovou ztrátou a dispozičním rozdílem tlaků (tj. rozdíl tlaků, který máme k dispozici na pokrytí tlakových ztrát obecně jakoukoli formou), které v potrubní síti vždy platí. My však potřebujeme, aby platily za námi požadovaných průtoků v jednotlivých úsecích potrubní sítě. Tyto rovnice musíme rozdělit do dvou kategorií. Rovnice pro přirozený oběh vody (samotíž), a rovnice pro nucený oběh vody.

Bilanční tlaková rovnice pro přirozený oběh vody nám říká, že při proudění vody v okruhu vznikají tlakové ztráty a jejich celková hodnota musí odpovídat hodnotě účinného tlaku, tj. obecně dispozičnímu rozdílu tlaků. Pro každý okruh tedy platí:

$$\Delta p_o = \Delta p_{disp} = \Delta p_\rho, \quad (6.13)$$

kde: Δp_o je tlaková ztráta okruhu [Pa];
 Δp_{disp} dispoziční rozdíl tlaků [Pa].

U otopných soustav s nuceným oběhem vody nezajišťuje proudění vody v okruhu pouze účinný tlak, nýbrž především dopravní tlak čerpadla. **Bilanční tlaková rovnice pro nucený oběh vody v obecném tvaru** je:

$$\Delta p_o = \Delta p_{disp} = \Delta p_\rho + \Delta p_\epsilon, \quad (6.14)$$

kde Δp_ρ - účinný tlak okruhu [Pa]
 Δp_ϵ - dopravní tlak oběhového čerpadla [Pa]
 Δp_o - celková tlaková ztráta okruhu [Pa]
 Δp_{disp} - dispoziční rozdíl tlaků [Pa].

Jestliže je dopravní tlak čerpadla několikanásobně větší než tlak vyvolaný přirozeným oběhem, uvažuje se ve výpočtech kvůli zjednodušení jen tlak čerpadla. Tento případ nastává u soustav v nízkých rozlehlých budovách, kde je velikost účinného tlaku, daného ve svém vztahu výškou vodního sloupce, zanedbatelná. U výškových objektů dosahuje tlak vyvolaný samotíží vysokých hodnot. Je však vlivem proměnných teplot teplotnosné látky během otopného období nestálý. Jelikož teploty vody přívodní a vratné dosahují jmenovitých hodnot jen výjimečně uvažuje se účinný tlak z 50 až 75 % , s přihlédnutím k výšce vytápěného objektu. Pro praktické využití tedy rozdělujeme bilanční tlakovou rovnici pro nucený oběh vody do dvou praktických zápisů pro „nízké“ otopné soustavy (cca do tří pater) a pro „vysoké“ otopné soustavy (cca nad tři patra).

Bilanční tlaková rovnice pro nucený oběh vody a tzv. nízké otopné soustavy nabývá tvar:

$$\Delta p_o = \Delta p_{disp} = \Delta p_\epsilon \quad (6.15)$$

Bilanční tlaková rovnice pro nucený oběh vody a tzv. vysoké otopné soustavy je:

$$\Delta p_o = \Delta p_{disp} = \Delta p_\epsilon + (0,50 \text{ až } 0,75) \cdot \Delta p_\rho \quad (6.16)$$

6.3 Výpočet dvoutrubkových teplovodních otopných soustav s přirozeným oběhem vody

V uzavřeném okruhu teplovodního vytápění, jehož částí je zdroj tepla, a v jehož jiných částech dochází k ochlazení vody, vzniká účinný tlak (přirozený vztlak). Vznik účinného tlaku a přirozeného oběhu lze vysvětlit takto. Po zátoku dojde v horní části kotle ke zvýšení teploty vody, a to má za následek zvětšení jejího měrného objemu a snížení hustoty. Hydrostatický tlak sloupce teplé vody poklesne a sloupec studené vody začne svým vyšším hydrostatickým tlakem vytlačovat sloupec teplé vody nahoru. Pro okruh s jedním ochlazovacím místem platí:

$$\Delta p_{\rho} = p_{\rho_2} - p_{\rho_1} = h \cdot \rho_2 \cdot g - h \cdot \rho_1 \cdot g = h \cdot g(\rho_2 - \rho_1), \quad (6.17)$$

kde Δp_{ρ} - účinný tlak [Pa];
 t_1, t_2 - teplota vody teplejší a chladnější [°C];
 ρ_1, ρ_2 - hustota vody teplejší a chladnější [kg/m³].

Je-li ochlazovací místo okruhu výš než střed zdroje tepla, vzniká kladný účinný tlak. Je-li ochlazovací místo okruhu níž než střed zdroje tepla, vzniká naopak záporný (protisměrný) účinný tlak

$$\Delta p_{\rho} = h \cdot g \cdot (\rho_2 - \rho_1) < 0, \text{ neboť } h < 0. \quad (6.18)$$

Při realizaci přirozeného oběhu se snažíme, aby ochlazovací místa byla co nejvýše nad zdrojem tepla a aby na nich docházelo k dostatečnému ochlazení (změně hustoty) protékající vody.

Účinný tlak v okruhu s několika ochlazovanými místy je opět dán rozdílem hydrostatických tlaků. Výsledný účinný tlak je dán součtem účinků jednotlivých ochlazovacích míst, tzv. dílčích účinných tlaků. Za podmínky, že neuvažujeme ochlazení vody v potrubí, bude účinný tlak v okruhu pro více ochlazovaných míst (obr. 15) vypadat takto:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\rho} &= [\rho_2 g(h_1 - h_2) + \rho_3 g(h_2 - h_3) + \rho_4 g h_3] - \rho_1 g h_1 = \\ &= h_1 g(\rho_2 - \rho_1) + h_2 g(\rho_3 - \rho_2) + h_3 g(\rho_4 - \rho_3). \end{aligned} \quad (6.19)$$

Oteplovací místa mají opačný účinek. Jsou-li nad středem kotle, vyvolávají záporný dílčí účinný tlak a kladný dílčí účinný tlak, jsou-li pod úrovní středu kotle. Obecně tedy hovoříme o tom, že účinný tlak uzavřeného okruhu je dán algebraickým součtem dílčích účinných tlaků v okruhu, z čehož plyne, že lze započítávat vliv ochlazení i oteplení v kterémkoli místě okruhu.

$$\Delta p_{\rho} = \sum_{i=1}^n h_i \cdot g \cdot (\rho_{i+1} - \rho_i), \quad (6.20)$$

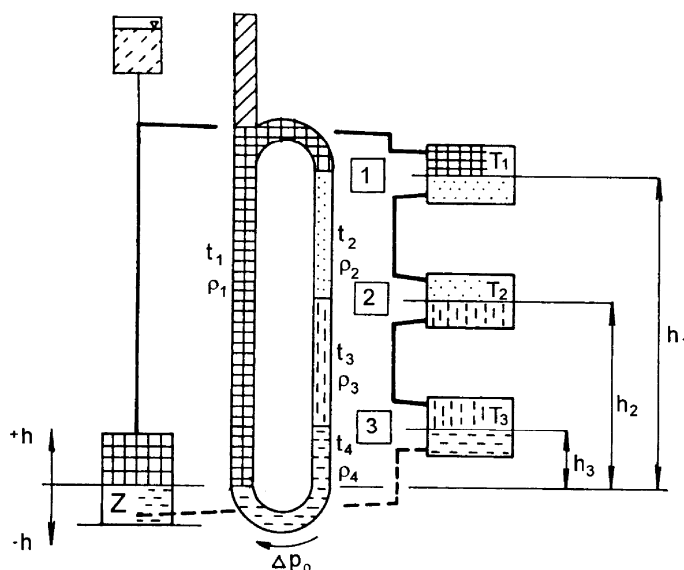
kde Δp_{ρ} - účinný tlak uzavřeného okruhu [Pa];
 h_i - výška středu místa, ve kterém dochází ke změně teploty, vzhledem ke středu zdroje tepla [m];
 ρ_i - hustota vody na vstupu do takového místa [kg/m³];
 ρ_{i+1} - hustota vody na výstupu z takového místa [kg/m³].

Při proudění vody v okruhu vznikají tlakové ztráty a jejich celková hodnota musí odpovídat hodnotě účinného tlaku. Pro každý okruh tedy platí (viz bilanční tlakové rovnice):

$$\Delta p_p = \Delta p_o, \quad (6.21)$$

kde: Δp_o je tlaková ztráta okruhu [Pa].

Průměry potrubí, jmenovité světlosti armatur, nastavení regulačních prvků a pod. se navrhuje tak, aby při požadovaném průtoku byla celková tlaková ztráta okruhu stejně velká jako účinný tlak okruhu. Při výpočtu tlakových ztrát se okruh dělí na úseky s neměnným hmotnostním průtokem.



Obr. 15 Vznik účinného tlaku v soustavě s přirozeným oběhem

6.3.1 Postup při výpočtu potrubní sítě se spodním a horním rozvodem - Metoda předběžného tlakového spádu

Pro praktický výpočet se zanedbává ochlazení vody v potrubí. Jediným ochlazovaným místem každého okruhu (zdroj tepla - otopné těleso - zdroj tepla) je otopné těleso. Účinný tlak okruhu lze určit ze vztahu (6.17). Hustoty vody se určí podle jmenovitého teplotního rozdílu (90 - 70 °C) z příslušných tabulek či podle vztahu:

$$\rho_t = 1003,7 - 0,17265 \cdot t - 0,0028136 \cdot t^2, \quad (6.22)$$

kde ρ_t [kg/m³] je hustota vody při teplotě t . Podkladem k výpočtu je výpočtové schéma, ze kterého by měly být patrné všechny hodnoty potřebné pro výpočet. Výpočtové schéma obsahuje skladbu potrubní sítě, její místní odpory, výškové rozdíly a otopná tělesa s jejich tepelnými výkony. Schéma je rozděleno na jednotlivé úseky okruhů. Úseky se očíslovají ve smyslu postupu výpočtu a uvede se u nich přenášený tepelný výkon, ev. jemu odpovídající hmotnostní průtok a délka potrubí úseku.

Přenášený tepelný výkon úsekem je dán součtem jmenovitých tepelných výkonů otopných těles, jež úsek zásobuje. Tepelný výkon otopného tělesa bývá o 3 až 10 % vyšší než vypočítaná tepelná ztráta místnosti, a tak jsou vypočítané průtoky vyšší. Toto navýšení přibližně vyrovnává tepelné ztráty potrubí při průchodu nevytápěnými prostory.

Hmotnostní průtok se určí z rovnice (6.5) a výpočet začneme okruhem s nejméně příznivými podmínkami, tj. s největší tlakovou ztrátou a nejmenším rozdílem dispozičních tlaků. Začínáme tedy okruhem nejnižšího a zároveň nejvzdálenějšího otopného tělesa. Pokud je takových okruhů více, začínáme s okruhem o největším tepelném výkonu otopného tělesa (tj. s největším průtokem otopné vody).

Návrh průměrů jednotlivých úseků je nejdříve předběžný a vychází z tzv. předběžného tlakového spádu R_p :

$$R_p = \frac{\Delta p_{disp} \cdot (1-a)}{\sum l} = \frac{\Delta p_\rho \cdot (1-a)}{\sum l}, \quad (6.23)$$

- kde R_p - předběžný tlakový spád, ev. měrná tlaková ztráta [Pa/m];
 Δp_{disp} - dispoziční rozdíl tlaků [Pa];
 Δp_ρ - účinný tlak uzavřeného okruhu [Pa];
 $\sum l$ - délka počítané části okruhu [m];
 a - podíl místních odporů na celkové tlakové ztrátě [-].

Velikost podílu místních odporů je dána vztahem:

$$a = \frac{\sum Z}{\Delta p} = \frac{\sum Z}{\sum (R \cdot l + Z)}$$

Ve skutečnosti se podíl místních odporů odhaduje, k čemuž nám poslouží tab. 3.

Tab. 3 Volba podílu vřazených odporů a

Druh soustavy – budovy	a
Venkovní, dálkové rozvody	0,1 až 0,2
Otopné soustavy v průmyslových rozsáhlých budovách	0,2 až 0,3
Běžné dvoutrubkové soustavy v obytných budovách	0,3 až 0,4
Otopné soustavy při rekonstrukcích starých budov s členitým rozvodem a nuceným oběhem vody	0,4 až 0,55
Pro potrubní sítě u úpraven parametrů	0,7 až 0,9
Vzduchotechnické potrubí teplovzdušných soustav	až 0,9

Na základě předběžně stanoveného R_p a příslušných hmotnostních průtoků se navrhnu průměry potrubí a u každého úseku se vyčíslí skutečná hodnota R a rychlosti w . Rovněž se najdou hodnoty $\sum \xi$ a Z a vyjádří se celková tlaková ztráta $Rl + Z$.

Pokud předběžný návrh všech úseků odpovídá rovnici (6.21), není třeba výpočet upravovat. Většinou je však třeba výpočet korigovat zmenšením či zvětšením průměru potrubí úseku, nebo části úseku, i když menší přebytky tlaku lze seškrtnit regulačními armaturami otopných

těles. Nastavení trvalé regulace armatur se určuje podle technické dokumentace výrobců. Rozsah rychlostí proudění teplotnosné látky v otopných soustavách udává tab. 4.

Tab. 4 Rozsah optimálních rychlostí teplotnosné látky v potrubí

Teplotnosná látka	Rozsah w [m/s]	Průměrná w [m/s]
Nízkotlaká pára	10 až 25	15
Středotlaká pára	20 až 50	30
Vysokotlaká pára	30 až 70	45
Teplotvodní soustava s přirozeným oběhem vody	0,05 až 0,3	0,2
Teplotvodní soustava s nuceným oběhem vody	0,2 až 1,0	0,6
Dálkové horkovodní rozvody	1,0 až 4,0	1,5

Po návrhu prvního okruhu navrhujeme stejným způsobem i okruhy další, s tím, že část okruhu a její tlaková ztráta jsou již známy z předchozího výpočtu.

Výpočet potrubní sítě s horním rozvodem je stejný, s tím rozdílem, že ochlazovací účinek přívodního i vratného potrubí je větší. Z tohoto důvodu je třeba výpočtem zachytit změny teploty vody v jednotlivých úsecích a použít rovnice (6.20). Otopná voda, která přitéká do níže položených otopných těles bude chladnější a otopné těleso bude mít nižší střední teplotu t_m . Při výraznějším snížení střední teploty tělesa (vyšší objekt) je nutno přepočítat ještě jmenovitý výkon otopného tělesa na jiné teplotní podmínky.

6.4 Výpočet dvoutrubkových teplotvodních otopných soustav s nuceným oběhem vody

U otopných soustav s nuceným oběhem vody nezajišťuje proudění vody v okruhu pouze účinný tlak, nýbrž především dopravní tlak čerpadla. Rovnice hydrauliky okruhu nabývá tedy tvaru:

$$\Delta p_\rho + \Delta p_\epsilon = \Delta p_{zo}, \quad (6.24)$$

kde Δp_ρ - účinný tlak okruhu [Pa];
 Δp_ϵ - dopravní tlak oběhového čerpadla [Pa];
 Δp_o - celková tlaková ztráta okruhu [Pa].

Jestliže je dopravní tlak čerpadla několikanásobně větší než tlak vyvolaný přirozeným oběhem, uvažuje se ve výpočtech kvůli zjednodušení jen tlak čerpadla. Tento případ nastává u soustav v nízkých rozlehlých budovách, kde je velikost účinného tlaku, daného ve svém vztahu výškou vodního sloupce, zanedbatelná

$$\Delta p_\epsilon = \Delta p_o. \quad (6.25)$$

U výškových objektů dosahuje tlak vyvolaný samotíží vysokých hodnot. Je však vlivem proměnných teplot teplotnosné látky během otopného období nestálý. Jelikož teploty vody přívodní a vratné dosahují jmenovitých hodnot jen výjimečně, uvažuje se účinný tlak z 50 až 75 % , s přihlédnutím k výšce vytápěného objektu.

$$(0,5 \div 0,7) \cdot \Delta p_\rho + \Delta p_\epsilon = \Delta p_o \quad (6.26)$$

Hlavní rozdíl výpočtů nuceného a přirozeného oběhu spočívá ve skutečnosti, že dispoziční rozdíl tlaků každého okruhu přirozeného oběhu je předem určen výškou ochlazovacích míst, kdežto u nuceného oběhu se musí tento tlak, tedy dopravní tlak čerpadla, určit.

K určení dopravního tlaku čerpadla a k určení průměrů potrubí se používá několik metod. Naše volba se však vždy odrazí na výkonu, resp. příkonu čerpadla, a tudíž na provozních nákladech. Výkon čerpadla určíme

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot V_{\epsilon} \cdot H_{\epsilon}}{\eta} = \frac{\Delta p_{\epsilon} \cdot V_{\epsilon}}{\eta}, \quad (6.27)$$

- kde
- P - jmenovitý výkon čerpadla [W];
 - Δp_{ϵ} - dopravní tlak čerpadla [Pa];
 - ρ - hustota teplotonosné látky [kg/m³];
 - g - tíhové zrychlení [m/s²];
 - V_{ϵ} - dopravní množství čerpadla [m³/s];
 - H_{ϵ} - dopravní výška čerpadla [m];
 - η - účinnost čerpadla [-];

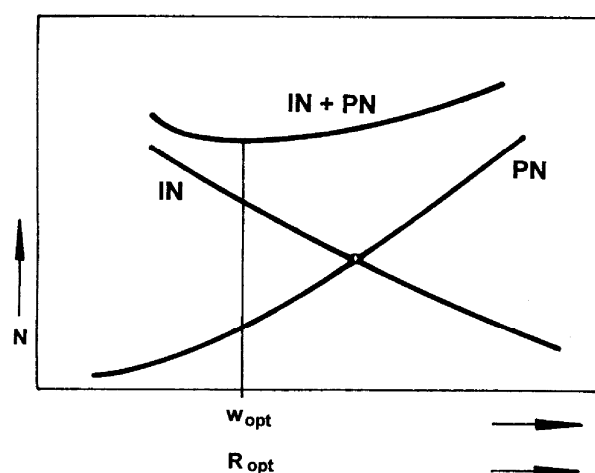
Použijeme-li čerpadla s vysokým dopravním tlakem, tak dosáhneme vysokých rychlostí proudění a malých průměrů potrubí, což sebou nese menší investiční náklady. Při volbě většího průměru potrubí jsou investiční náklady větší, leč provozní náklady čerpadla s nižším dopravním tlakem jsou menší. Mezi těmito extrémy leží jakési optimum, podle kterého se volí ekonomická rychlost proudění vody v potrubí či měrná tlaková ztráta (tab. 5) a následně dostáváme i optimální průměr potrubí. Ekonomická je taková rychlost proudění, při které dosáhne součet investičních a provozních nákladů nejnižší hodnoty (obr. 16).

Tab. 5 Ekonomické hodnoty rychlosti a tlakového spádu

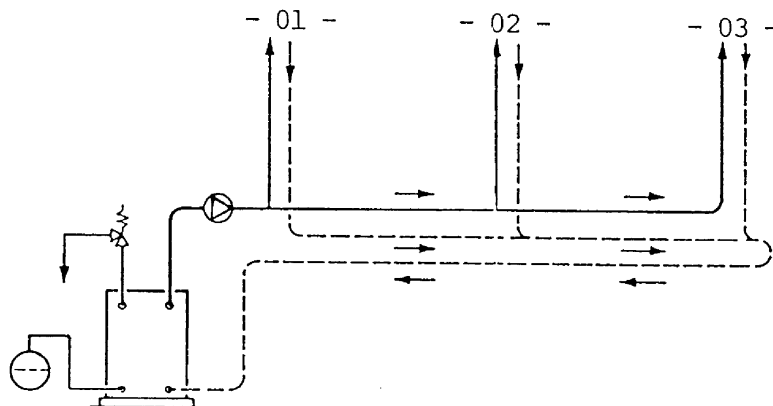
Potrubní síť	rychlost w [m/s]	měrná tlaková ztráta R [Pa/m]
uvnitř obytných budov pro přípojky k otopným tělesům a stoupačí potrubí	0,3 až 0,7	60 až 100
uvnitř obytných budov pro horizontální rozvodné potrubí ve sklepě	0,8 až 1,5	110 až 200
vně obytných budov u CZT	2,0 až 3,0	200 až 400
uvnitř průmyslových objektů pro přípojky k otopným tělesům a stoupačí potrubí	0,8 až 2,0	110 až 250
vně průmyslových objektů u CZT	2,0 až 3,0	200 až 400

Vysoké rychlosti nad 1 m/s způsobují hlukové projevy v místech změn průřezů, náhlých změn směru proudění a škrťicích armatur, včetně vlastního hluku turbulentního proudění. U potrubní sítě, navržené s vysokými rychlostmi proudění, nelze dosáhnout v obytném prostoru požadované hladiny akustického tlaku L_p [dB].

Protiproudé otopné soustavy s vysokým dopravním tlakem čerpadla vyžadují v úsecích blízkých čerpadlu přesný výpočet dimenzí či výrazné škrcení prostřednictvím armatur. Voda dosahuje vysokých rychlostí proudění, kterým odpovídají i příslušné hlukové projevy. Tuto nevýhodu odstraňuje souproudé (Tichelmannovo) zapojení. U souproudé potrubní sítě je součet délek přívodního a zpětného potrubí ke každému odběrnému místu přibližně stejný (obr. 17). Vzhledem k větší spotřebě materiálu je takováto potrubní síť nákladnější, avšak většinou se u ní nevyskytují problémy s hlukem.



Obr. 16 Ekonomická rychlost a tlakový spád
IN - investiční náklady; PN - provozní náklady



Obr. 17 Tichelmannovo zapojení

6.4.1 Metoda přímé volby čerpadla

Dopravní tlak oběhového čerpadla lze přímo volit tehdy, jsou-li k dispozici obdobné projekty, zkušenost projektanta s návrhem potrubních sítí je značná, projektujeme-li kotel, jehož součástí je čerpadlo, nebo je-li z jiného důvodu dispoziční rozdíl tlaků předem dán (např. tlakově závislé napojení otopné soustavy na CZT – rozdíl tlaků na patě objektu). Dopravní tlak čerpadla musí odpovídat rozlehlosti i přenášenému tepelnému výkonu soustavy, což lze orientačně vyjádřit maximální vzdáleností potrubní sítě od strojovny (tab. 6).

Tab. 6 Dopravní tlak čerpadla podle max. vzdálenosti potrubní sítě od strojovny

Maximální vzdálenost potrubní sítě L [m]	Dopravní tlak čerpadla Δp_c [kPa]
do 100	10 až 30
200	30 až 40
500	50 až 70

Je-li dopravní tlak čerpadla určen, postupujeme při výpočtu potrubní sítě téměř stejně jako u přirozeného oběhu, neboť dispoziční rozdíl tlaků pro okruhy je již znám. Dále se pokračuje metodou předběžného tlakového spádu.

Výpočet se začíná okruhem s největší předpokládanou tlakovou ztrátou, tj. většinou nejdelším (okruhem nejvzdálenějšího otopného tělesa), ev. nejvýkonnějším bez ohledu na výšku otopného tělesa nad zdrojem tepla.

6.4.2 Metoda ekonomických rychlostí

V některých případech je vhodné volit ekonomickou (optimální) rychlost, podle které se navrhnou průměry potrubí úseků základního (nejdelšího, nejvýkonnějšího) okruhu. Po provedení návrhu potrubní sítě tohoto okruhu se vypočítá jeho tlaková ztráta, která se stává podkladem pro volbu dopravního tlaku čerpadla. Tím odpadne předběžný a konečný výpočet tlakového spádu.

Je-li základní okruh takto navržen, tj. je známa jeho celková tlaková ztráta a určeno čerpadlo, počítají se ostatní okruhy metodou předběžného tlakového spádu nebo metodou rychlostí. Rychlosti volíme podle získaných projekčních zkušeností či podle tabulky 5. V běžných domovních soustavách lze za optimální rychlost považovat hodnotu 0,3 až 0,9 m/s s doporučením; čím větší průměr potrubí, tím větší rychlost. U větších průměrů je obvod průřezu potrubí relativně malý, takže ztráty třením jsou při stejné rychlosti nižší, a lze tedy volit vyšší rychlosti proudění. Rychlost by měla směrem od strojovny klesat. U větších a náročnějších soustav se provádí za pomoci výpočetní techniky ekonomický rozbor pro více možností jak vedení potrubní sítě, tak rozsahu rychlostí.

6.4.3 Metoda ekonomického tlakového spádu

Tato metoda je obdobná jako předchozí, avšak místo ekonomické rychlosti se volí ekonomický tlakový spád. Metoda je zvláště vhodná pro počítačové zpracování, kde pro navolenou ekonomickou hodnotu tlakového spádu se při omezení maximální rychlosti napočítá průměr potrubí a jeho skutečná tlaková ztráta. Například volíme měrnou tlakovou ztrátu $R_{ek} = 160 \text{ Pa/m}$ pro vnitřní teplovodní potrubní síť a maximální rychlost do $w = 1 \text{ m/s}$. Doporučené hodnoty ekonomického tlakového spádu pro potrubní síť jsou uvedeny v tabulce 12.

6.4.4 Využití ekvivalentních délek

Tato metoda se s oblibou používá při výpočtech dálkových horkovodních potrubních sítí, ale i při výpočtu jednotrubkové horizontální otopné soustavy. U horkovodních potrubních sítí se s

výhodou využívá skutečnosti, že poměr d/λ je při vyšších teplotách téměř konstantní a nezávislý na rychlosti proudění. Ve skutečnosti se nejedná o samostatnou metodu návrhu potrubní sítě, ale o nahrazení tlakové ztráty místními odpory ekvivalentní délkou l_{ekv} . Celková tlaková ztráta se tedy určí jako součin měrné tlakové ztráty R a výpočtové délky L , která vznikne součtem skutečné délky l a ekvivalentní délky l_{ekv} , jak popisuje vztah (6.12).

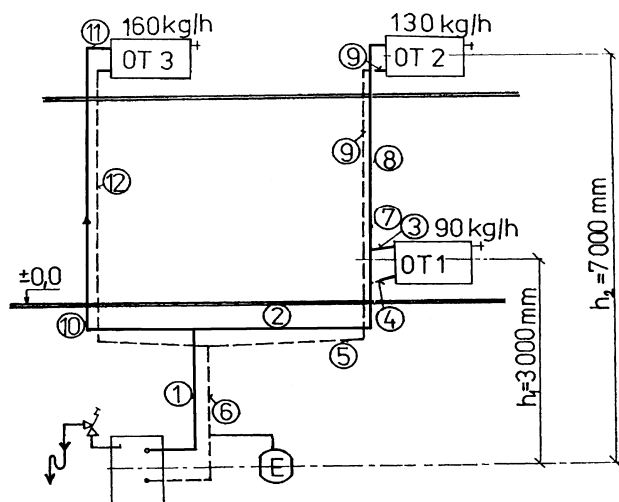
Řešíme-li konkrétní zadání, rozhodneme se nejprve pro některou z popsaných výpočtových metod. Příprava výpočtu spočívá v návrhu vedení potrubní sítě a ve vypracování plně popsaného výpočtového schématu.

Uveďme si příklad výpočtu dvoutrubkové otopné soustavy se spodním rozvodem a přirozeným oběhem vody. Úkolem je navrhnout potrubní síť dvoutrubkové teplovodní otopné soustavy se spodním rozvodem podle obr. 18. Teplotní spád na otopné soustavě je 90/70 °C. Drsnost stěn potrubí předpokládáme $k = 0,1$ mm.

Řešení je provedeno pro dva okruhy v tabulce 7. Průměry označené DN_# jsou platné. U otopných těles budou nainstalovány nízkoodporové ventily. Liší-li se skutečná tlaková ztráta od účinného vztlaku, opraví se průměr u některých úseků a pro tyto úseky se pak znovu určí skutečná tlaková ztráta (pravá část tab. 7). Hmotnostní průtok uvedený nad otopným tělesem se určí z rovnice (6.5).

Použité hodnoty $\sum \xi$ u prvních úseků:

úsek 1:	kotel	2,0	úsek 2:	koleno	1,0
	redukce	0,1		rozdělení	0,5
	oblouk 2x	0,6		šoupě	<u>0,5</u>
	rozdělení	<u>1,2</u>			2,0
		3,9			
úsek 3:	obchoz	0,5	úsek 4:	těleso	1,5
	koleno	2,0		koleno	2,0
	těleso	1,5		koleno	2,0
	armatura na OT	<u>4,5</u>		shybka	0,5
		8,5		obchoz	<u>0,5</u>
					6,5



Obr. 18 Výpočtové schéma k tab. 7

Tab. 7 Příklad výpočtu dvoutrubkové otopné soustavy se spodním rozvodem a přirozeným oběhem vody

číslo úseku	M [kg/h]	l [m]	d [mm]	R [Pa/m]	w [m/s]	$\Sigma \xi$ [-]	LR [Pa]	Z [Pa]	$\Sigma (LR+Z)$ [Pa]	ZMĚNY									
										l [m]	d [mm]	R [Pa/m]	w [m/s]	$\Sigma \xi$ [-]	LR [Pa]	Z [Pa]	$\Sigma (LR+Z)$ [Pa]		
OT 1																			
1	380	7,0	32 #	5,35	0,11	3,9	37	23	60										
2	220	6,5	25 #	7,8	0,11	2,0	51	12	63										
3	90	1,5	15 #	20,5	0,13	9,5	31	78	109										
4	90	1,5	20 #	4,85	0,07	6,5	7	16	23										
5	220	6,0	25 #	7,8	0,11	2,5	47	15	62										
6	380	8,0	32 #	5,35	0,11	0,9	43	5	48										
		30,5								365 Pa < Δp_p									
OT 2										$\Delta p_\xi = \Delta \rho \cdot g \cdot h_2 = 858$ Pa, odečíst úseky 1, 2, 5, 6 $\Delta p_p = 858 - 233 = 625$ Pa, $R_{před} = 625 \cdot (1 - 0,33) / 11 = 38$ Pa/m									
7	130	4,0	15	40,5	0,19	2,0	162	35	197	0,5	20 #	9,4	0,11	1,0	5	6	11		
8	130	1,5	15	40,5	0,19	5,5	61	96	157	5,0	15 #	40,5	0,19	7,5	202	131	333		
9	130	5,5	15 #	40,5	0,19	3,0	223	53	276										
		11								630 > $\Delta p_p \Rightarrow$ změna d					po opravě 620 Pa < Δp_p				
Výpočet pro OT 3 pokračuje stejným způsobem.																			

7. Velkoplošné sálavé vytápění

K převážně sálavému vytápění řadíme velkoplošné vytápění stropní, stěnové a podlahové, stejně jako celkové či lokální vytápění zavěšenými sálavými panely a tmavými nebo světlými zářiči. U převážně sálavého vytápění se převážná část tepla z otopné plochy sdílí sáláním (zářením; radiací) a pouze malé množství prouděním (konvekci). Podíl tepelného toku sdíleného sáláním např. u stropního vytápění je 80 %, u stěnového 65 % a u podlahového 55 %.

Převážně sálavý způsob vytápění se odráží i na míře zastoupení střední radiační teploty a teploty vzduchu v operativní teplotě (pro malé rychlosti proudění vzduchu ve výsledné teplotě). U převážně sálavého vytápění je střední radiační teplota vyšší než teplota vzduchu, zatímco u konvekčního vytápění je, pro stejnou výslednou teplotu, vyšší teplota vzduchu.

U velkoplošných, teplovodních, převážně sálavých soustav je příslušná stavební konstrukce zevnitř zahřívána trubkami, v nichž proudí teplá voda. Ke stanovení výkonu sálavé plochy je potřebné znát průběh teploty po jejím povrchu, resp. střední povrchovou teplotu. Nejvyšší teplota je v místě trubek, nejnižší uprostřed mezi trubkami.

Stanovení průběhu teploty v otopné ploše a zejména zjištění střední povrchové teploty otopné plochy je jedním z hlavních teoretických problémů sálavého vytápění. Nejprve se tímto problémem zabýval Kalous (1937), který odvodil, na základě klasické Gröberovy teorie vedení tepla v tyči, řešení vhodné pro praxi. Kalousův způsob řešení později upravili a doplnili Kollmar a Wierze (1950), kteří rovněž vyšli z Gröberovy teorie. U nás byla nejlepší a nejrozšířenější prací publikace doc. Cihelky, která shrnula všechny teoretické poznatky a v jejím druhém vydání (1961) se objevily i praktické výstupy s popisem jednotlivých druhů sálavých otopných ploch a sálavých soustav.

U sálavého vytápění se většina tepelného toku sdílí do vytápěného prostoru sáláním. Znamená to, že se od sálající plochy ohřívají plochy osálané a teprve od sálajících a osálaných ploch se ohřívá okolní vzduch což je ta druhá, konvekční složka z celkového tepelného toku. Vyplyvá

z toho skutečnost, že vnitřní povrchové teploty stavebních konstrukcí jsou vyšší než je teplota vzduchu.

V současnosti můžeme sálavé vytápění rozdělit následovně :

- velkoplošné vytápění (stropní, stěnové a podlahové),
- celkové vytápění zavěšenými sálavými panely,
- lokální vytápění zavěšenými sálavými panely,
- vytápění tmavými a světlými plynovými zářiči, které nepatří do otopných ploch, ale do lokálních zdrojů tepla.

Jak nám rozdělení již napovídá, sálavá otopná plocha může být součástí stavební konstrukce, jako její nedělitelná součást, nebo je vytvořena jako samostatná otopná plocha. Hlavní rozdíly jsou nejen v konstrukčním řešení, ale i u povrchových teplot otopných ploch, jejich měrném výkonu či volbě teplotonosné látky.

U velkoplošného vytápění tvoří otopnou plochu obvykle některá ze stěn ohraničujících vytápěný prostor. Je to tedy strop, stěna či podlaha. Povrchová teplota otopné plochy je poměrně nízká (40 až 45 °C u stropního, 55 až 60 °C u stěnového a 25 až 34 °C u podlahového vytápění) tudíž i teplota teplotonosné látky bude nízká. Otopná plocha je zahřívána:

- teplou vodou,
- teplým vzduchem,
- elektricky.

Nízkoteplotní otopné soustavy jsou vhodné pro využívání tepla z nízkopotenciálních zdrojů. Podle použité plochy lze velkoplošné otopné soustavy rozdělit na:

- podlahové,
- stropní,
- stěnové.

Podíl tepelného toku sáláním u stropního vytápění je zhruba 80 %, u stěnového 65 % a u podlahového 55 % přičemž konstrukční provedení otopné plochy bývá různé. Je možno uvést dvě základní řešení :

- otopná plocha je nedělitelnou součástí stavební konstrukce,
- otopná plocha je samostatná
 - upevněná na některé ze stavebních konstrukcí
 - nebo umístěná volně ve vytápěném prostoru.

7.1 Podlahové vytápění

Přesto, že problematika podlahového vytápění není nová, dochází u nás k rozmachu podlahového vytápění až v posledních 20 letech. První podlahové vytápění bylo ve starověkém Římě r. 80 p.n.l. Sergius Orata navrhnul toto starořímské hypokaustum tak, že ohniště bylo umístěno pod objektem a bez roštu se v něm spalovalo dřevo či dřevěné uhlí. Teplé spaliny proudily dutinami v podlaze a ve stěnách, prohřívaly je a ty sdílely teplo do vytápěného prostoru.



Obr. 18 Starořímské hypokaustum

U podlahového vytápění se pro otopnou plochu využívá jedna ze stavebních konstrukcí, ohraničující vytápěný prostor. Přenos tepla se uskutečňuje převážně sáláním. Tepelná rovnováha sálavě vytápěného prostoru byla však definována až v minulém století.

Volba podlahového vytápění, jako prostředníka k zajištění tepelné pohody, je dána objektem samým. Ten musí splňovat tepelnětechnické vlastnosti tak, že průměrná tepelná ztráta by měla být menší jak 20 W/m^3 eventuálně průměrná roční spotřeba tepla nižší než 70 až 80 kWh/m^2 . Z těchto údajů je patrné, že minimální náročnost objektu vzhledem ke spotřebě tepla je na prvním místě a teprve následně přistupuje vhodný provozní režim, možnost akumulace tepla či optimální regulace.

Tab. 8 Celkový součinitel přestupu tepla α_P a měrný tepelný výkon q u velkoplošného sálavého vytápění.

Použitá plocha		Povrchová teplota plochy t_P (°C)							
		25	30	35	40	45	50	55	60
Stropní	α_P (W/m ² .K)	-	-	7,4	7,5	7,7	-	-	-
	q (W/m ²)	-	-	126	165	208	-	-	-
Podlahová	α_P (W/m ² .K)	9,2	10,0	-	-	-	-	-	-
	q (W/m ²)	64	120	-	-	-	-	-	-
Stěnová	α_P (W/m ² .K)	-	-	-	-	-	11,0	11,4	11,7
	q (W/m ²)	-	-	-	-	-	352	422	491

Tab. 9 Rozdělení velkoplošného podlahového vytápění

Rozdělení podle	Velkoplošné podlahové vytápění
Teplonosné látky	Teplovodní, elektrické, teplovzdušné
Montáže	Mokvý proces, suchý proces
Provedení	Meandr, plošná spirála
Materiálu potrubí	Kovové, plastové, vícevrstvé
Uložení otopného hadu	Zabudované, volně ukládané

U podlahového vytápění je při sdílení tepla podíl sálavé složky jen o málo větší než je podíl složky konvekční (55 : 45 %). Tento poměr u podlahového vytápění vhodně využívá výhod

obou způsobů sdílení tepla. Otopná plocha tvoří téměř celou plochu podlahy čím napomáhá vytvářet teplotně homogenní uniformní prostředí jak ve vertikálním, tak i horizontálním směru.

7.1.1 Tepelně technické vlastnosti pro podlahové vytápění

Tepelně technické vlastnosti stavební konstrukce jsou dány :

- tepelným odporem stavební konstrukce,
- teplotním útlumem stavební konstrukce,
- tepelnou jímavostí podlahy,
- množstvím zkondenzované a vypařené vodní páry,
- provzdušností spár,
- tepelnou stabilitou místnosti,
- spotřebou energie.

Požadavky na jednotlivé hodnoty, obzvláště pak součinitel prostupu tepla konstrukce jsou stanoveny v ČSN 73 0540. Konstrukce by měly mít součinitel prostupu tepla $U \leq U_N$.

Tepelná jímavost podlahové konstrukce se určuje pro zimní období na základě neustáleného tepelného stavu daného :

- počáteční povrchovou teplotou
 - chodidla $t_N = 33 \text{ }^\circ\text{C}$,
 - podlahy $t_P = 17 \text{ }^\circ\text{C}$;
- dobou dotyku chodidla s podlahou $\tau = 10 \text{ min}$.

7.1.2 Tepelná pohoda

Úkolem vytápění je zajistit tepelnou pohodu ve vytápěném prostoru. To znamená, že musíme dosáhnout takových poměrů, za kterých člověk nepocituje ani chlad ani nadměrné teplo či se mokře potí, tedy cítí se tepelně neutrálně.

Základní faktory, které ovlivňují tepelnou pohodu jsou :

a) faktory osoby

- činnost vyjádřená metabolickým tepelným tokem $q_m \text{ (W/ m}^2\text{)}$,
- tepelný odpor oblečení $R_{ob} \text{ (m}^2\text{.K/W)}$;

b) faktory prostředí

- teplota vnitřního vzduchu $t_i \text{ (}^\circ\text{C)}$,
- střední radiační teplota $t_r \text{ (}^\circ\text{C)}$,
- rychlost proudění vzduchu $w \text{ (m/s)}$,
- tlak vodních par ve vzduchu $p_D \text{ (Pa)}$.

Kombinací všech těchto parametrů můžeme stanovit rovnici tepelné pohody. Za akceptovatelný pokládáme stav, kdy je procento nespokojených se stavem menší jak 15 %. Současně však musí za požadavku tepelné neutrality být splněno, že se žádná část těla nepřehřívá či nepodchlazuje. Jinak řečeno musíme splnit i požadavky na eliminaci lokální tepelné nepohody na libovolné části lidského těla, která vzniká :

- asymetrickým tepelným sáláním,
- vertikálním teplotním gradientem vzduchu,
- příliš teplou či chladnou podlahou,
- zvýšeným prouděním vzduchu.

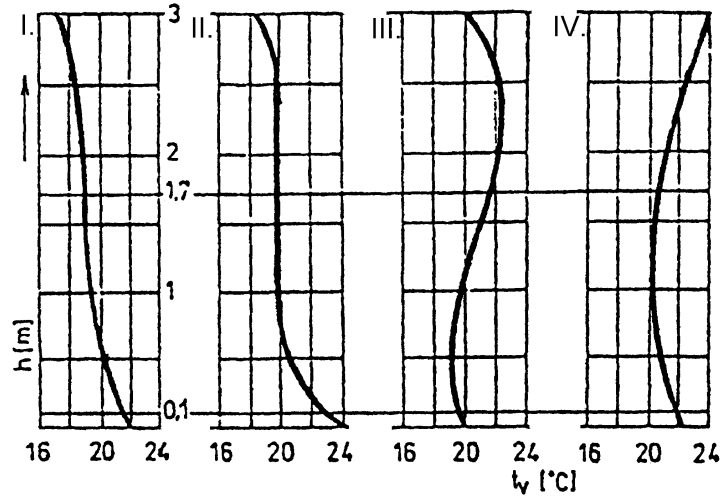
Vzhledem k přímému kontaktu chodidla s podlahou může u podlahového vytápění dojít k lokální tepelné nepohodě v důsledku vysoké povrchové teploty podlahy. Proto je velmi důležité znát, jaké povrchové teploty podlahy člověk akceptuje a během jaké doby kontaktu chodidla s podlahou a při jakém druhu obutí.

Tab. 10 Optimální povrchová teplota podlahy užívané bez obutí.

Podlahový materiál	Optimální povrchová teplota podlahy		Doporučené rozmezí povrchové teploty podlahy t_p (°C)
	1. min	10. min	
Textilie	21	24,5	21,0 až 28,0
Korek	24	26	23,0 až 28,0
Dřevo - borovice	25	26	22,5 až 28,0
- dub	26	26	24,5 až 28,0
PVC na betonu	28	27	25,5 až 28,0
Linoleum na dřevě	28	26	24,0 až 28,0
Plynobeton	29	27	26,0 až 28,5
Betonová mazanina	28,5	27	26,0 až 28,5

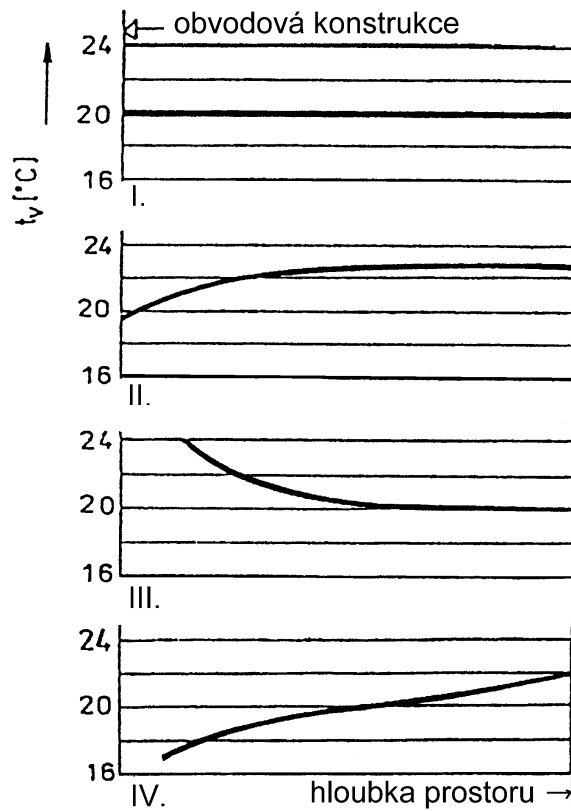
Pro podlahy kde se vyskytují neobutí lidé (plovárny, tělocvičny, koupelny, ...) je rozhodující jejich skladba. Na základě teorie sdílení tepla je pak možné stanovit optimální povrchové teploty pro různé druhy podlah (viz tab. 10) Podlahy využívané obutými lidmi neovlivňují z hlediska materiálu podlahové krytiny lokální tepelnou pohodu člověka. V tomto případě se doporučuje optimální teplota podlahy pro dlouhodobě sedící osoby 25 °C a pro stojící a chodící osoby 23 °C. Obecně je u podlahového vytápění rozhodující, že průměrná teplota podlahy by neměla překročit 29 °C.

Rovněž důležité je prostorové rozložení teplot, tedy jak v rovině vertikální, tak horizontální. Vertikální rozložení teplot uvnitř vytápěného prostoru je způsobeno nerovnoměrným přívodem tepla a nerovnoměrným ochlazováním jednotlivých stěn místnosti. Vertikální nerovnoměrnost je tím vyšší, čím vyšší je povrchová teplota otopné plochy. S ohledem na skutečnost, že u podlahového vytápění je povrchová teplota otopné plochy ze všech druhů vytápění nejnižší, je vertikální rozložení teplot téměř ideální. Teplota v úrovni hlavy je max. o 2 až 3 °C vyšší než v oblasti kotníků. U ostatních druhů vytápění je vertikální průběh teplot dosti nerovnoměrný. Ideální vytápění by mělo zajistit takové rozložení teplot po výšce místnosti, aby v oblasti hlavy stojícího člověka byla teplota vzduchu min. o 2 °C nižší než je v oblasti kotníků. Podíváme li se na obr. 10 zjistíme, že takovému ideálnímu průběhu teplot se nejvíce blíží podlahové vytápění.



Obr. 19 Vertikální průběh teploty vzduchu ve vytápěné místnosti při jejím různém způsobu vytápění; I. – ideál, II. – podlahové, III. – článkové OT, IV - stropní

Horizontální rozložení teplot (obr. 20) ovlivňuje hlavně umístění otopné plochy ve směru od obvodové ochlazované konstrukce. U podlahového vytápění je horizontální průběh teplot téměř rovnoměrný, blíží se ideálnímu, až na úzkou oblast u ochlazované konstrukce. Tento nedostatek se dá jen velmi zřídka kompenzovat intenzivní okrajovou zónou, ve které je potrubí kladeno v šířce 0,5 až 1,0 m hustěji u sebe. Je tedy kladeno s menší roztečí než je tomu v podlaze uprostřed místnosti.

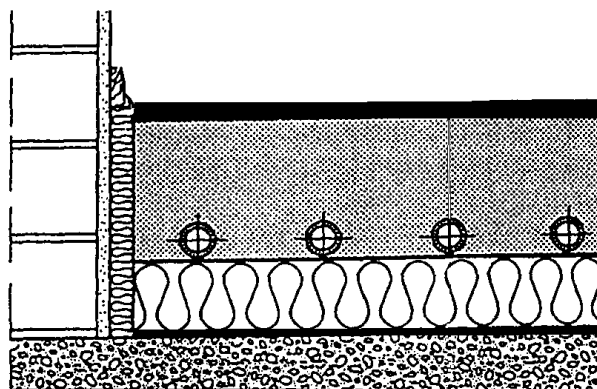


Obr. 20 Horizontální průběh teploty vzduchu ve vytápěné místnosti při jejím různém způsobu vytápění; rozdělení shodné s obr. 19

7.1.3 Konstrukce a provedení podlahové otopné plochy

Konstrukce podlahové otopné plochy vychází z termínu plovoucí podlaha. Značí to, že vlastní konstrukce otopné plochy není pevně spojena s nosnou částí podlahy, ale jakoby na ní plave tak, aby jí byly umožněny veškeré dilatační změny. Konstrukci podlahové plochy s mokrým způsobem pokládky otopného hadu tvoří :

- podkladový beton
- tepelně-akustická izolace
- obvodový tepelněizolační a dilatační pás
- hydroizolace
- reflexní fólie
- otopný had
- betonová mazanina
- a podlahová krytina.



Obr. 21 Řez konstrukcí podlahové plochy – mokrá pokládka.

Provedení otopné plochy

Otopná podlahová plocha poskytuje projektantovi několik variant. Jednotlivé varianty lze rozdělit takto :

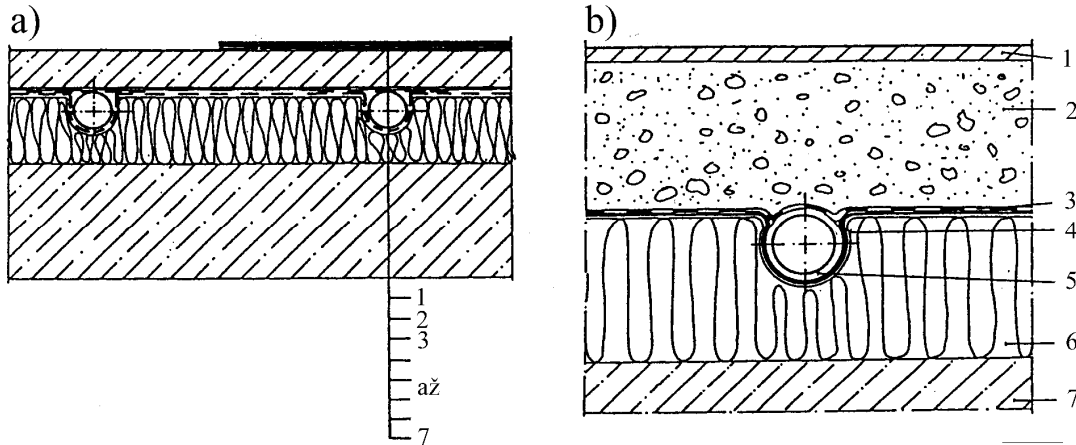
- podle způsobu provedení otopné plochy
 - provedení suchým způsobem,
 - provedení mokrým způsobem,
 - provedení přes modulové klima desky či obdobné prvky,
 - provedení přes kapilární rohože;
- podle tvarování otopného hadu
 - ve tvaru meandru,
 - ve tvaru plošné spirály.

Volba vhodné varianty provedení podlahové otopné plochy závisí na více faktorech. Nejdůležitější je však zohlednění vlivu ochlazovaných stěn. Rovněž nezanedbatelná je minimalizace teplotní nerovnoměrnosti povrchu podlahy.

a) Suchý způsob

Jak je patrné na obr. 22 potrubí je uloženo do izolační vrstvy pod betonovou deskou. Od cementového potěru jsou trubky odděleny speciální vrstvou, buď plastovou nebo kovovou fólií. Kovová lamela pod fólií zvyšuje pevnost podlahy a umožňuje rovnoměrný rozvod tepla.

Podlaha vytvořená na suchý způsob pracuje s vyššími teplotami otopné vody. Přírodní teplota vody se pohybuje v rozsahu 40 až 70 °C. Tento způsob se využívá tam, kde nám postačují nižší měrné tepelné výkony cca do 50 W/m² např. jako dodatková otopná plocha, či kde stačí pouze temperovat nebo se požaduje nízká konstrukční výška podlahy (rekonstrukce).



Obr. 22 Suchý způsob vytvoření otopné plochy

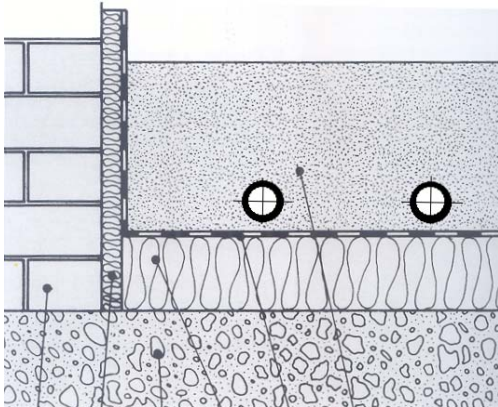
a) řez otopnou plochou

b) detail uložení trubky

(1 – podlahová krytina, 2 – cementový potěr, 3 – hydroizolace, 4 – fólie, 5 – otopný had, 6 – tepelná izolace, 7 – nosná podlaha)

b) Mokrý způsob

Otopný had je zabetonován přímo do betonové vrstvy nad tepelně zvukovou izolací. Předpokládaná teplota přírodní otopné vody je 35 až 55 °C a podlaha pracuje s měrným tepelným výkonem nad 50 W/m².

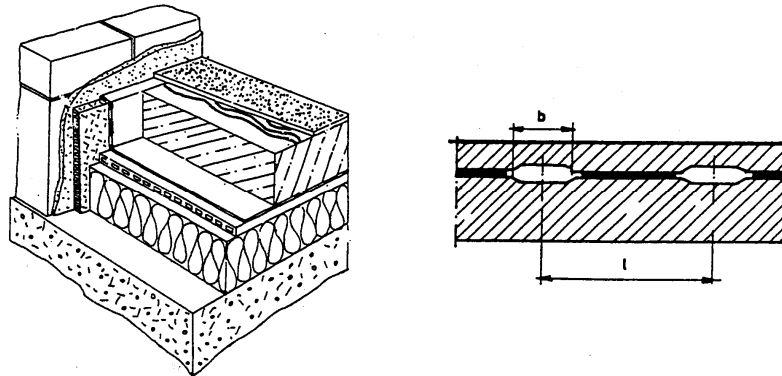


Obr. 23 Mokrý způsob vytvoření otopné plochy – řez podlahou

c) Modulové – klima podlahy

Modulové klima podlahy jsou duté profilované desky či pásy (moduly), které se vyrábějí přímo pro tento účel. Kladou se na tepelnou izolaci jako souvislá plocha a hydraulicky se mezi sebou propojují. Takovýto způsob provedení je na obr. 24. Jejich výhodou je vyšší pružnost otopné soustavy, nízká konstrukční výška a rovnoměrné rozložení povrchové teploty podlahy. Takto vytvořená otopná

podlaha pracuje s nízkými teplotami vstupní otopné vody v rozmezí 25 až 35 °C. Modulové klima desky mají, vzhledem k velmi malým průtočným průřezům, zvýšené požadavky na čistotu otopné vody. Snad právě proto se tyto systémy v ČR nepoužívají.



Obr. 24 Řez modulové klimapodlahy

d) Kapilární rohože

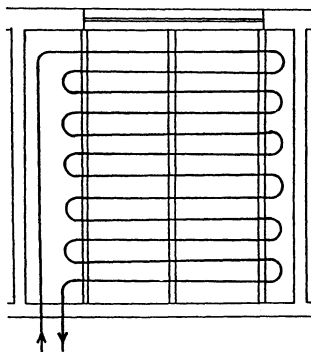
Kapilární rohože se pro podlahové vytápění používají jen zřídka. Jejich použití je především u stěnové či stropní otopné plochy nebo u celoplošného vytápění (otopná plocha je na všech stěnách včetně podlahy a stropu). Nejvýhodnější je použití kapilárních systémů u nízkoenergetických domů, kde je potřebný jen velmi malý měrný tepelný výkon a lze jít na nízké teploty povrchu otopné plochy a na nízké teplotní spády. Kapilární rohože se umísťují buď přímo na stěnu (u vhodných stěn), na tepelnou izolaci či na sádkokarton pod omítku nebo slabou vrstvu mazaniny. Upevněné kapilární rohože se mezi sebou spojují (jejich sběrné a rozvodné potrubí) polyfúzním svařováním (obr. 25). V případě nechtěného porušení kapiláry nebo při jejím ucpaní nečistotami v otopné vodě ji lze odkrýt a narušení zavařit. K výrobě kapilárních rohoží se používá polypropylen, který však nevykazuje potřebnou ochranu proti difúzi kyslíku do otopné vody přes stěnu trubky. Proto je žádoucí oddělit hydraulický okruh otopných ploch s kapilárními rohožemi od ostatních hydraulických okruhů (okruh kotelny, otopných těles atd.) teplosměnnou plochou výměníku tepla (používají se deskové nerezové výměníky tepla).



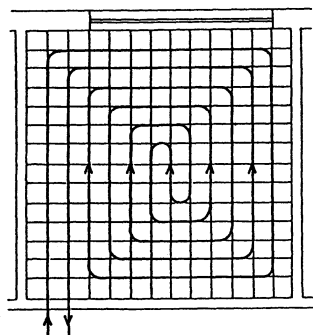
K výrobě kapilárních rohoží se používá polypropylen, který však nevykazuje potřebnou ochranu proti difúzi kyslíku do otopné vody přes stěnu trubky. Proto je žádoucí oddělit hydraulický okruh otopných ploch s kapilárními rohožemi od ostatních hydraulických okruhů (okruh kotelny, otopných těles atd.) teplosměnnou plochou výměníku tepla (používají se deskové nerezové výměníky tepla).

Obr. 25 Polyfúzní svařování sběrné a rozvodné trubky kapilárních rohoží

Neméně důležitý je způsob **tvárování otopného hadu**. Meandrový způsob kladení je na obr. 26. U tohoto způsobu kladení klesá teplota otopné vody od obvodové konstrukce k vnitřní stěně, což umožňuje rovnoměrnější rozložení teplot ve vytápěné místnosti. Oblouky se tvarují pod úhlem 180°, což vyžaduje použití potrubí menšího průměru (např. 16 x 2 či 17 x 2 mm).



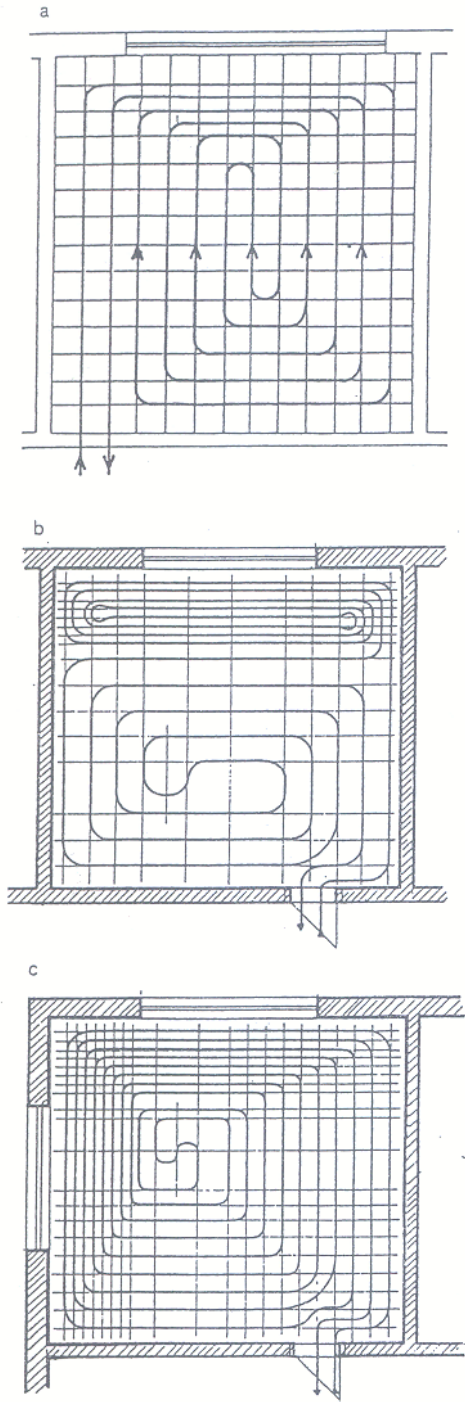
Obr. 26 Meandrový způsob kladení otopného hadu



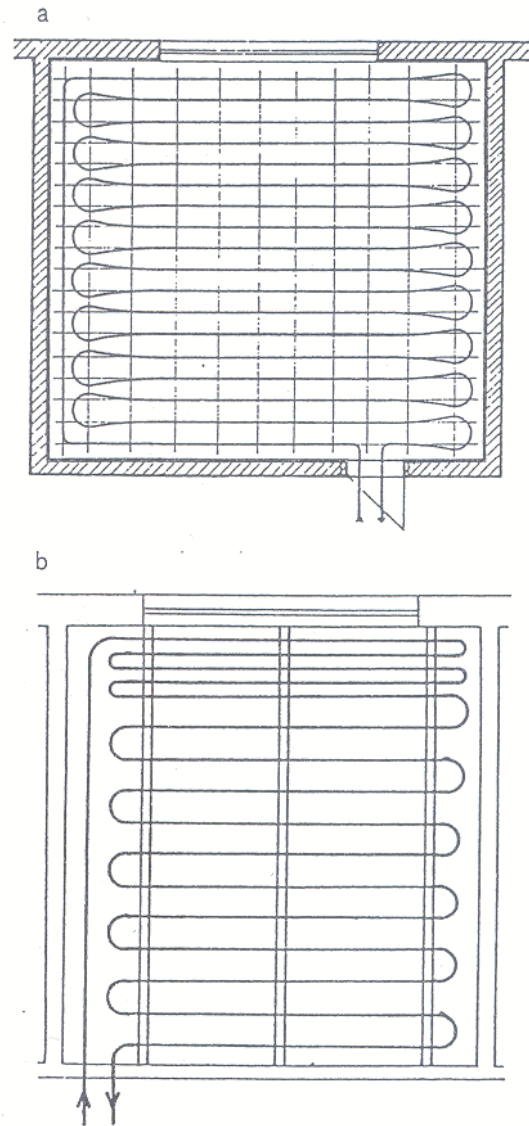
Obr. 27 Kladení otopného hadu ve tvaru plošné spirály

Pokládku v podobě plošné spirály ukazuje obr. 27. U tohoto způsobu kladení je povrchová teplota podlahy po celé její ploše rovnoměrná. Nevýhodou je pokles vnitřní teploty v horizontálním směru od vnitřní k obvodové konstrukci. Tato nevýhoda se dá částečně eliminovat vytvořením okrajové intenzivní zóny. Pro uložení trubek do meandru se většinou navrhuje trubky 18 x 2 a 20 x 2 mm, neboť tvarování umožňuje menší poloměry pod úhlem 90°.

Oba způsoby umožňují kladení s okrajovou intenzivní zónou (obr. 28 a 29). Tato okrajová zóna částečně eliminuje negativní vliv ochlazovaných konstrukcí na vytváření místní tepelné nepohody. Okrajová zóna se umísťuje k okenní stěně či do rohu objektu v šířce 0,5 až 1,0 m.

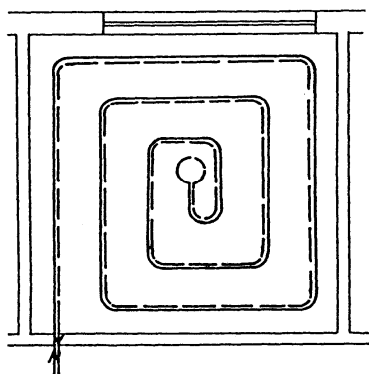


Obr. 28 Kladení ve tvaru plošné spirály
 a) s okrajovou zónou – zhuštění
 b) s okrajovou zónou – zvlášť vytvořenou
 c) s okrajovou zónou u dvou stěn

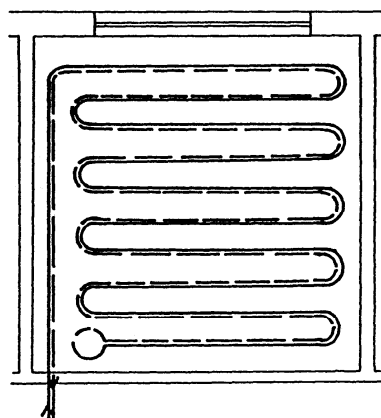


Obr. 29 Meandrový způsob pokládky
 a) bez okrajové zóny
 b) s okrajovou zónou

U bifilární pokládky (obr. 30 a 31) lze dosáhnout jakéhosi zprůměrování teploty otopné vody dvou vedle sebe běžících potrubí, a tak dosáhnout vyrovnané povrchové teploty po celé podlaze. Tento účinek se však výrazněji projeví u meandrové pokládky.



Obr. 30 Plošná spirála
– bifilární způsob pokládky



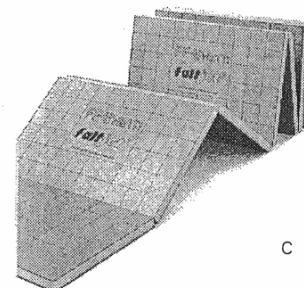
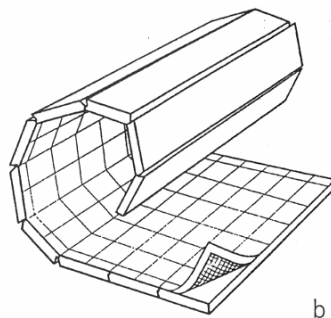
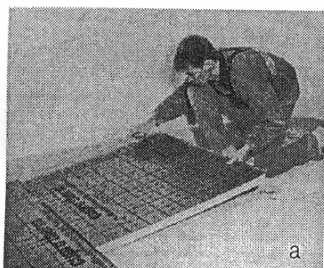
Obr. 31 Meandrový bifilární
způsob pokládky

7.1.4 Jednotlivé vrstvy

Pokládka otopné podlahy předpokládá dokončené omítky na všech stěnách sousedících s podlahou, osazené zárubně dveří a dokončený kotlový okruh. V objektu jsou osazeny rozdělovače, sběrače a ostatní zařizovací a ovládací prvky soustavy. Před pokládkou tepelné izolace se u nosné části podlahy odstraní nedostatky, jako jsou nerovnosti, nečistoty, mastné skvrny a pod. Po úpravě podkladu se kladou souvisle obvodové izolační pásy. Pokud je to potřebné člení se podlaha na dilatační celky s maximální plochou 40 m².

Pro provedení tepelně-izolačního a dilatačního pásu se doporučují tabule či pásy tloušťky 10 až 20 mm, které dobře kompenzují tepelnou roztažnost plovoucí betonové vrstvy. Okrajové izolační pásy se kladou podél všech stěn vytápěné místnosti mezi plovoucí podlahu a stěny. Je nutné izolační pásy klást i kolem sloupů a do dělicích dilatačních spár. Okolo architektonicky komplikovanějších částí jako jsou sloupy, rohy, výklenky se izolační pásy pevně uchyty (např. hřebíkem). Montážní organizace obvykle dodávají pásy s rozměry 100 x 10 mm, přičemž minimální tloušťka okrajových izolačních pásů by měla být 5 mm.

Po položení okrajových dilatačních pásů klademe tepelnou a zvukovou izolaci. Tato izolace může být v podobě systémových desek, samostatných desek či jako tzv. roll – jet a fold – jet opatřených upevňovací tkaninou, což umožňuje vytvářet systémové role. Izolační desky klademe těsně k sobě tak, aby vytvořily souvislou vrstvu. Někdy se k sobě fixují kovovými či plastovými sponami. Tepelnou izolaci začínáme klást od krajů místnosti k jejímu středu, čímž zároveň fixujeme dilatační pás na obvod stěn.

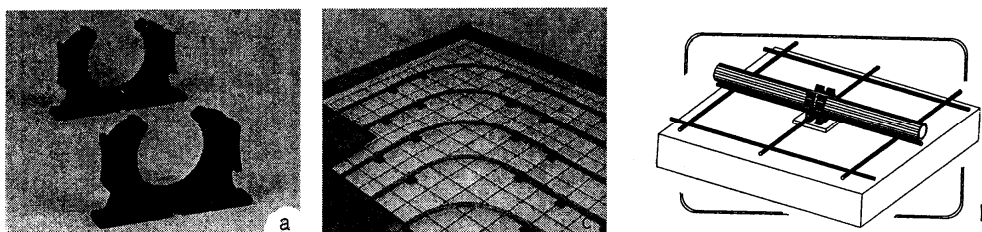


Obr. 32 Příklady tepelně-akustické izolace
a) samostatné desky, b) provedení roll – jet, c) provedení fold – jet

Podkladový beton je nosnou částí, která tvoří podklad pro samotnou otopnou plochu. Je třeba si uvědomit, že při zalití otopného hadu do vrstvy betonu 4 až 6 cm vysoké bude nosná část podlahy zatížena hmotností 80 až 100 kg/m². Povrch nosné části podlahy musí být rovný a pokud se podlahová otopná plocha klade na podklad, který umožňuje pronikání vlhkosti do své konstrukce musí se povrch nosné části podlahy opatřit hydroizolační fólií o tloušťce min. 0,2 mm.

Za normálního provozu je přípustné max. zatížení u obytných prostor 1,5 kN/m², u kancelářských prostor 2,0 kN/m², u prodejních prostor do 50 m² v obytných domech 2,0 kN/m² a u poslucháren či školních tříd 3,5 kN/m².

Hydroizolační fólie PVC či PE se klade volně na povrch izolačních desek. Okraje jednotlivých pásů se překrývají minimálně 20 až 30 cm a po obvodě místnosti se vytahují nad okraj obvodového izolačního pásu. Dnes se většinou používá kombinovaná fólie která plní jak funkci hydroizolační tak reflexní.



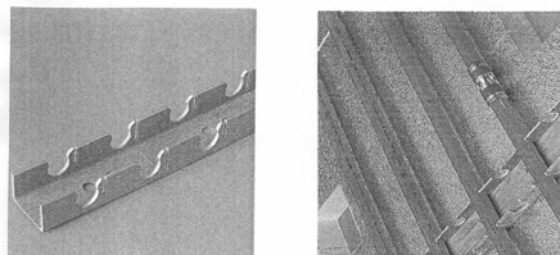
Obr. 33 Upevnění plastovými příchýtkami na síť

V případě použití systémových desek fólie odpadá, neboť systémové desky jsou tak povrchově upraveny, aby převzaly její funkci.

Potrubí otopného hadu se upevňuje :

- přivazováním na síť,
- plastovými příchýtkami na síť,
- do plastových lišt,
- plastovými příchýtkami (hřeby, spony) do izolační desky,
- vtlačováním trubek do systémové desky,
- připevňováním na armovací síť,
- spojováním lamelových kazet,
- spojováním modulových klima podlah.

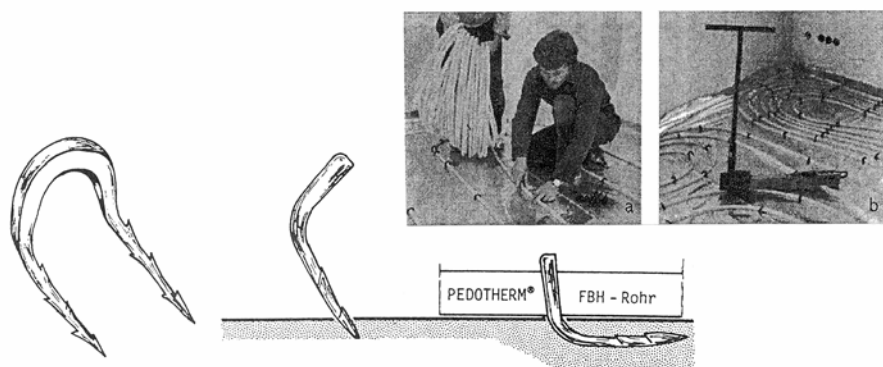
Při upevňování plastovými příchýtkami na síť se nejdříve vytvoří kari síť, která se osadí příchýtkami. Do příchýtek se pak vtlačí trubka otopného hadu. V tomto případě se zjednoduší celá montáž oproti přivazování trubek na síť.



Obr. 34 Upevňování do plastových lišt

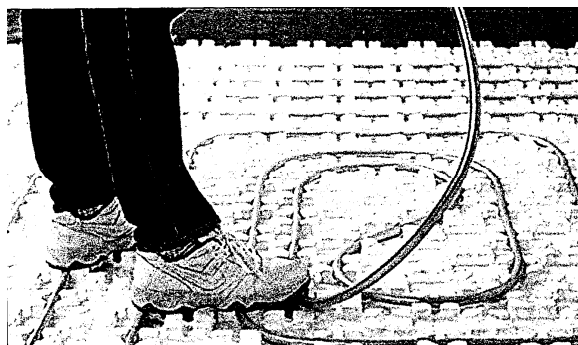
Další způsob představuje kladení plastových lišt s jednoduchými spojkami na izolační vrstvu. Trubky se poté vtlačí do předlisovaných otvorů v liště podle potřebné rozteče dané výpočtem.

Velmi jednoduchý způsob pokládky umožňuje fixace plastovými příchytkami (spony, hřebky) do izolační vrstvy. U tohoto způsobu buď ručně či speciálním vlačovacím náčiním upevníme trubky k tepelně-izolační vrstvě tak, že perforujeme reflexní fólii i tepelně-izolační vrstvu.



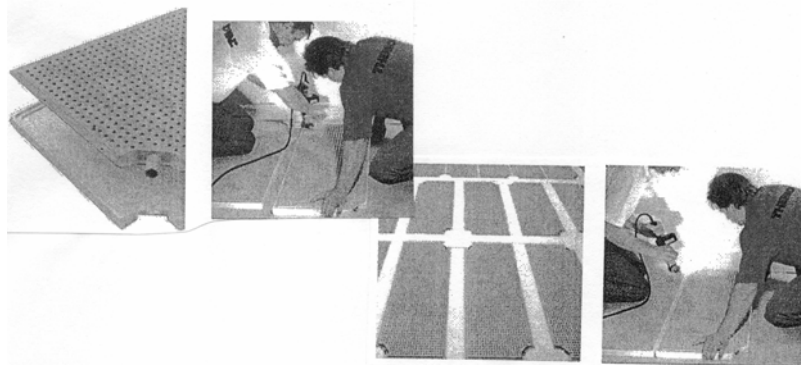
Obr. 35 Upevnění plastovými příchytkami do izolační vrstvy

V případě systémových desek je jejich horní část účelově tvarována do řady výstupků, mezi které se potrubí vtlačí v potřebné rozteči či v potřebném rádiu. Montáž se v tomto případě výrazně zrychluje, čím se v konečném důsledku zlevňuje i práce.



Obr. 36 Kladení do systémových desek

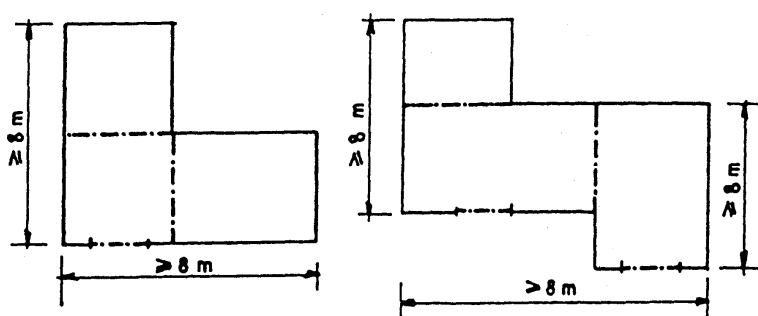
Ukládání modulových klima podlah představuje zcela odlišný přístup. Otopný had je nahrazen modulovými klimadeskami, které představují integrované duté desky, jejichž propojením se vytvoří celá podlahová otopná plocha.



Obr. 37 Modulové klima podlahy

Vraťme se ještě k dilatačním spárám neboť jsou z hlediska odolnosti a trvanlivosti plovoucí podlahy nejdůležitější součástí. Dilatační spára se musí provést tak, aby umožnila skutečné rozpínání podlahy. Šířka spáry má být 8 až 10 mm. Pro velikost dilatačních ploch se doporučuje maximálně 40 m² avšak optimálně do 25 m². Plochy vymezené dilatačními spárami by měly mít, pokud to lze, čtvercový půdorys. Délka dilatačního celku by neměla přesáhnout 8 m a poměr stran 1 : 2. Návrh dilatačních spár je podmíněn i půdorysným řešením místnosti. Půdorysy tvaru L, T či Z se dělí na obdélníková či čtvercová pole a dilatační spáry se umísťují i v místech přestupu vnějších dveří. Dělení větších dilatačních celků ukazuje obr. 38.

Dilatační spáry rozdělují jednotlivé vrstvy v celém jejich průřezu od tepelné izolace až k povrchu podlahy a nosné armatury se musí přerušit. Povrchy spár se vyplňují stále pružným tmelem. Pokud je to nutné pak přes dilatační spáru prochází naprosté minimum potrubí uložené v chrániče min. 0,5 m na každou stranu od spáry.



Obr. 38 Dělení dilatačních celků

Tepelně-akustická izolace musí krom izolačních vlastností splňovat i další požadavky. Jedná se hlavně o dostatečnou pevnost a malou stlačitelnost použitého materiálu. Tato vrstva se provádí hlavně z polystyrénových desek, překrytých hydroizolační fólií proti zatékání do spár. Podle umístění podlahy se její výška pohybuje od 20 do 60 mm. Akustickou a tepelnou izolaci dodávají výrobci i jako základní desku podlahového vytápění. Vnější hrany desek jsou profilované a při ukládání pak desky do sebe pevně zapadají, čímž tvoří souvislou vrstvu beze spár. V tomto případě není potřebná další fólie a nevznikají rovněž zvukové mosty. Jako izolační materiál se používají vypěňované plasty či vláknité izolace :

- polystyrénové desky PS 20 či 30 SE
- polystyrénové desky PST SE (působí i jako akustická izolace)
- desky z tvrzeného polystyrénu
- desky z tvrzeného plyuretanu
- polyetylenová pěna vysoké hustoty jako akustická izolace.

Hustota těchto materiálů má být 20 kg/m³ a stlačitelnost nesmí překročit 5 mm. Tepelná izolace, která sestává z více vrstev má pouze jednu vrstvu akustické izolace. Příčinou je velká stlačitelnost akustické izolace (3 až 4 mm jedné vrstvy), která by mohla způsobit zlomení otopné podlahové plochy.

Hydroizolace je spojitá izolační ochrana povrchu tepelněizolační vrstvy proti vnikání vlhkosti z betonové mazaniny, aby voda nezhoršovala tepelněizolační vlastnosti polystyrénu. Všechny místnosti kde podlaha leží přímo na rostlé půdě je třeba opatřit bariérou proti vlhkosti. Zde se doporučuje použít fólii z PVC tloušťky 0,1 až 0,2 mm či ve značně nepříznivém případě 2 x 0,2 mm, kterou je možno svařovat. Při svařování fólie je třeba dodržet alespoň 8 cm překrytí.

Reflexní fólie může u některého provedení plnit rovněž funkci hydroizolace. Při kladení se doporučuje 5 až 6 cm překrytí fólie s bodovým přelepením lepicí páskou. Reflexní fólie se vytahuje 1cm nad dilatační pásku. Je jí rovněž možné svářet či spojovat za studena speciální kaučukovitumenovou lepicí páskou u vlhkých místností.

Betonová mazanina používaná u podlahové otopné plochy je obohacena plastifikátory pro lepší zatékání pod a kolem trubek. Plastifikátory však obecně nezlepšují její vlastnosti vzhledem k vedení tepla. Anhydritové podlahové mazaniny lze použít pouze tehdy, když se k upevnění potrubí nepoužila kari síť, neboť sádra působí na kov korozívně. Do anhydritového potěru není potřebná žádná přísada.

Betonová směs nesmí být tečící. Je mylné se domnívat, že lépe obteče trubky. To musí zajistit správné složení směsi. Minimální tloušťka betonové vrstvy nad trubkami je 45 mm. Mokrý způsob však vyžaduje tloušťku 65 až 70 mm. Tam kde se očekává extrémní zátěž se vkládá ještě armovací rohož z ocelových prutů 50 x 50 x 2 mm. Betonování se provádí při natlakovaném otopném hadu. Přetlak se v průběhu prací hlídá, jelikož každý pokles tlaku v soustavě může znamenat porušení otopného hadu.

Anhydritové podlahové mazaniny představují materiál na bázi samonivelačního potěru ze směsi písku, přírodního anhydritu CaSO_4 , sádry $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ a dalších chemických sloučenin. Zatím co u mazaniny (byť s plastifikátorem) je maximální dilatační celek cca 40 m^2 , u anhydritové mazaniny se pohybujeme na desetinásobku, tj. cca 400 m^2 (v nepříliš věrohodných materiálech je uváděno až 900 m^2). Tato velikost dilatačního celku je dána velmi malou tepelnou roztažností anhydritové směsi od 0,012 do 0,015 mm/m (např. u 20 m strany roztažení činí v průměru 0,24 mm). Dostatečná výška anhydritové mazaniny nad potrubím z hlediska nosnosti podlahy je 35 mm, což oproti betonové mazanině vychází v průměru o 45 mm níže. Anhydritová mazanina má však i své nevýhody. Pokládku mazaniny musí provádět proškolená firma se silem a speciálním míchacím a dopravním zařízením. Podlahovou otopnou plochu tvořenou anhydritovou směsí nelze použít v mokřích prostorách či prostorách, kde hrozí nebezpečí vlhkosti (bazénové haly, plavecké bazény, kuchyně ...). Anhydrit vlhkostí ztrácí svou pevnost.

S topnou zkouškou by se nemělo začít dříve než 21 dní po ukončení betonování. Samotný provoz by neměl začít dříve než 28 dní po položení podlahové krytiny. Požadovaná povrchová teplota podlahy se dosahuje postupně po 5 °C denně.

Tepelný odpor podlahové krytiny musí vyhovovat požadavku $R \leq 0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Tomuto požadavku odpovídají téměř všechny běžné podlahové krytiny. Nedoporučují se textilní krytiny s délkou vlasu nad 10 mm, PVC s pryžovou podložkou a parkety z měkkého dřeva. Nejvhodnější krytinou jsou keramické či kamenné dlaždice do výšky 6 mm. Vzhledem k lepšímu vedení tepla se krytina neklade volně, ale lepí se či klade do vrstvy cementového potěru.

Všechny koberce, které jsou vhodné pro položení na vytápěnou podlahu, jsou označeny speciálním znakem. Parkety se volí z tvrdého dřeva do tloušťky 8 mm. Vlysky jsou méně vhodné. Druh podlahy je pevnou součástí návrhu a nelze později libovolně podlahovou krytinu měnit, jelikož bychom změnily její tepelný odpor. Čím větší je odpor podlahové krytiny, tím vyšší je teplota vody v podlahové otopné ploše.



7.1.5 Potrubí otopného hadu

Pro podlahové vytápění respektive pro otopné hady se používají trubky z :

- nerez (chromniklové oceli),
- mědi,
- plastů,
- a vícevrstvé trubky.

Zdánlivě ideální nerezové potrubí naráželo v praxi na problém spojování. Svařování vyžaduje v tomto případě speciální technologický postup, protože jinak dochází k nežádoucí rekrytalizaci. Rovněž při pájení natvrdo stříbrnou pájkou se často vyskytne nebezpečí koroze. Začátkem sedmdesátých let však nastal obrat, když firma Mannesmann vyvinula spoj nerezových trubek lisovanými objímkami z autentické nerezové oceli. Použití nerezového potrubí je však zcela výjimečné a to především u prestižních staveb v zahraničí.

Široké použití má též měkké měděné potrubí s přednostmi jako je :

- vysoká odolnost vzhledem ke korozi,
- malá tloušťka stěny,
- malá hmotnost vztažená na metr potrubí,
- velká pevnost,
- jednoduchá a rychlá montáž,
- dobrá možnost přizpůsobení se stavebním podmínkám,
- jednoduché a bezpečné spoje,
- baktericidní účinek atd.

Materiál ze kterého se potrubí vyrábí je dezoxidovaná měď (SF-Cu) s obsahem čisté mědi minimálně 99,90 %. U podlahového vytápění se používají měkké trubky F22 dodávané ve svitcích s pevností 220 N/mm², které jsou povlakovány PVC což zabraňuje vzniku bodové koroze při působení betonových či omítkových směsí a zároveň částečně umožňuje trubce dilatovat.

Největší uplatnění vykazuje potrubí z plastů. Plasty jsou makromolekulární látky, které se získávají chemickou přeměnou přírodních látek, nebo synteticky z organických sloučenin. Vzhledem ke způsobu technologického zpracování a chování plastů za tepla je dělíme na termoplasty, duroplasty a elastomery. Termoplasty lze tepelně vratně zpracovávat a upravovat.

Duroplasty (termosety) nelze teplem tvářet ani svařovat. Zvláštní skupinu mezi duroplasty tvoří termoelasty, které si ponechávají ohebnost, ale nedají se tepelně tvarovat ani svařovat. Hlavním představitelem termoelastů je síťovaný polyetylen.

Elastomery se mechanickým zatížením značně deformují. Po odlehčení se opět vracejí do původního stavu. Nelze je tepelně tvarovat a jsou nesvařitelné. Do této skupiny patří syntetické kaučuky.

Mezi vlastnosti plastů, kterých bychom si měli rozhodně povšimnout patří teplotní odolnost, stárnutí, korozní odolnost, hořlavost, nasákavost, elektrická vodivost, tepelná vodivost či teplotní roztažnost.

Do teplotní hranice za kterou polymer taje a měkne bez změny struktury hovoříme o teplotní odolnosti. Pokud posuzujeme teplotní odolnost u potrubí určených k instalaci ve vytápění, měli bychom se částečně jistit, neboť při nesprávném svařování dochází k částečné degradaci lokálním přehřátím.

Procesem stárnutí (někdy se používá termín koroze plastů) rozumíme probíhající nevratné změny mechanických vlastností plastů, které jsou podmíněny působením kyslíku, teploty a UV zářením. Negativní vliv mohou mít rovněž některé kovové materiály, jako je měď, kobalt a jejich slitiny. Při styku kovu s některými plasty dochází k termooxidaci, která je katalyzována kovovými ionty a projevuje se narušením struktury plastů. Z tohoto důvodu je nutno používat spojky doporučené výrobcem plastového potrubí a přechodky s vhodnou povrchovou úpravou.

U plastových výrobků nemusíme uvažovat změny rozměrových tolerancí a změny mechanických vlastností vlivem působení vlhkosti. Plasty jsou nesmáčivé a jejich nasákavost a navlhavost je velice nízká.

Z hlediska návrhu potrubní sítě je velmi důležitá délková teplotní roztažnost. Součinitel délkové teplotní roztažnosti udává, o kolik se prodlouží jeden metr trubky při ohřátí o jeden kelvin. Teplotní roztažnost je u plastů desetinásobně větší než u oceli nebo mědi (ocel 0,0115; měď 0,0165 mm/m.K). Pokud nebude projektant tuto vlastnost plastů plně respektovat způsobí si mnoho problémů, které je možno odstranit pouze novou pokládkou potrubí.

Tab. 11 Fyzikální vlastnosti plastů

Plast	ρ	E - modul	α	λ
	kg/m ³ · 10 ⁻³	N/mm ²	mm/m·K	W/m·K
PEX	0,94	600	0,18	0,41
PP-R	0,90	800	0,16	0,24
C-PVC	1,56	2500	0,10	0,12
PB	0,91	400	0,15	0,22
PVDF	1,78	1950	0,13	0,14

Součinitel tepelné vodivosti plastů je velmi nízký, tento poznatek nás však neopravňuje k zavržení tepelné izolace u plastového potrubí. Plastové potrubí nelze zařadit mezi termoizolanty a mnohé plastové rozvody přímo vyžadují obecnou izolační ochranu.

Plastové trubky se značí v milimetrové řadě. Značení by mělo obsahovat: jméno výrobce, označení materiálu, vnější či vnitřní rozměr x tloušťka stěny, provozní tlak / teplotu, datum výroby, název trubky a eventuelně registrační číslo.

Můžeme spojovat plastové potrubí navzájem, plastové potrubí s potrubím z jiného materiálu, trubky s tvarovkami, trubky s armaturami či trubky ke spotřebičům. K tomuto účelu slouží celý systém spojování potrubí. Spoje musí splňovat určité požadavky, a proto je kontrolujeme z hlediska odolnosti vůči tlaku, teplotě či chemickým vlivům, přičemž požadujeme funkčnost a těsnost spoje. Druhy spojů pro plastová potrubí používaná ve vytápění jsou uvedeny v tab. 12.

Tab. 12 Způsoby spojování plastů

Materiál	Značení	Spojování
Sítovaný polyetylen	PEX	mechanicky
Blokový kopolymer	PP-B	svařování - na tupo, polyfúzí, elektrospojkou, horkým plynem s přídavným materiálem, mechanicky
Statistický random	PP-R	svařování - na tupo, polyfúzí, elektrospojkou, horkým plynem s přídavným materiálem, mechanicky
Chlorovaný polyvinylchlorid	C - PVC	mechanicky, lepením
Polybuten	PB	svařování - na tupo, polyfúzí, elektrospojkou, horkým plynem s přídavným materiálem, mechanicky

V poslední době se u nás začíná využívat vícevrstvé potrubí, tedy potrubí složené z více vrstev nestejného materiálu. Vícevrstvé potrubí se skládá ze základní plastové trubky, hliníkového pláště ve šroubovici navíjeného či s podélným švem a ochranné plastové vrstvy. Dobrou soudržnost jednotlivých vrstev zajišťuje speciální přilnavá vrstva. U vícevrstvého potrubí je kompenzována nevýhoda plastových trubek - velká teplotní délková roztažnost. Hodnoty délkové teplotní roztažnosti se blíží hodnotám příslušejícím hliníku (0,0238 mm/m.K). Ačkoli se potrubí vyznačuje poměrnou tuhostí stále si zachovává výbornou ohebnost. Potrubí se spojuje mechanicky spojkami či polyfúzním svářením.

7.2 Tepelně technický výpočet teplovodního podlahového vytápění

Při výpočtu podlahové otopné plochy se vychází z předpokladu, že střední povrchová teplota podlahy nepřekročí hygienicky přípustné hodnoty a tepelný výkon podlahové otopné plochy bude krýt tepelné ztráty místnosti. Hlavním výkonovým parametrem je měrný tepelný výkon q při fyziologicky přípustné střední povrchové teplotě podlahové plochy t_p . Za předpokladu, že po obou stranách stropu je stejná teplota $t_i = t'_i$, se střední povrchová teplota počítá ze vztahu

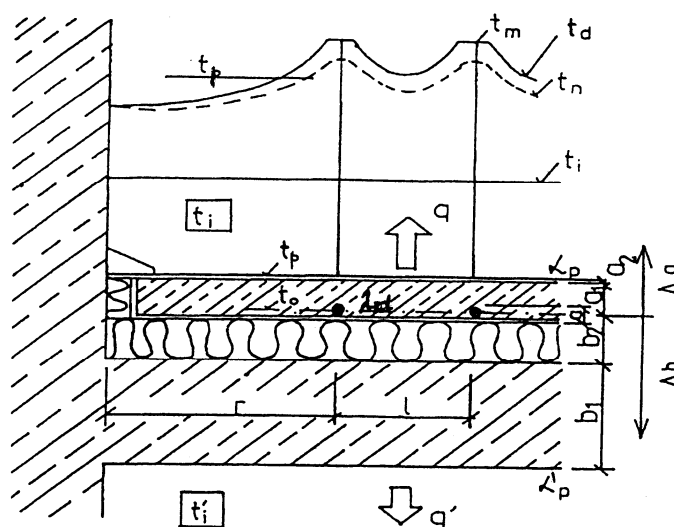
$$t_p - t_i = \frac{\Lambda_a}{\alpha_p} \cdot (t_m - t_i) \cdot \frac{\operatorname{tgh}\left(m \cdot \frac{l}{2}\right)}{m \cdot \frac{l}{2}}, \quad [\text{K}]$$

kde : t_m [°C] střední teplota otopné vody,
 t_i [°C] výpočtová vnitřní teplota,
 m [m⁻¹] charakteristické číslo podlahy,
 Λ_a [W/m².K] tepelná propustnost vrstev nad trubkami,
 α_p [W/m².K] celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy,
 l [m] rozteč trubek.

Charakteristické číslo podlahy při respektování válcového tvaru zdrojů se počítá ze vztahu

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (\Lambda_a + \Lambda_b)}{\pi^2 \cdot \lambda_d \cdot d}}, \quad [\text{m}^{-1}]$$

kde: Λ_b [W/m².K] tepelná propustnost vrstev pod trubkami,
 λ_d [W/m.K] součinitel tepelné vodivosti materiálu do kterého jsou zalaty trubky,
 d [m] vnější průměr trubek.



Obr. 39 Schématický náčrt podlahové otopné plochy pro výpočet

Při výpočtu tepelné propustnosti vrstvy nad trubkami

$$\Lambda_a = \frac{1}{\sum \frac{a}{\lambda_a} + \frac{1}{\alpha_P}}, \quad [\text{W/m}^2.\text{K}]$$

kde: a [m] tloušťka jednotlivých vrstev nad trubkami,
 λ_a [W/m.K] součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad trubkami,

se doporučuje počítat se součinitelem přestupu tepla na povrchu otopné plochy

$$\alpha_P = \alpha_{sP} + \alpha_{kP} = 5,4 + 6,6 = 12. \quad [\text{W/m}^2.\text{K}]$$

Tepelná propustnost vrstvy pod trubkami se určí ze vztahu

$$\Lambda_b = \frac{1}{\sum \frac{b}{\lambda_b} + \frac{1}{\alpha'_P}} = \frac{1}{R_{str} + \frac{1}{\alpha'_P}}, \quad [\text{W/m}^2.\text{K}]$$

kde : R_{str} [m².K/W] tepelný odpor stropní desky,
 α'_P [W/m².K] součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné podlahy (obvykle se volí $\alpha'_P = 8$ W/m². K).

Střední povrchová teplota podlahové otopné plochy nemá z fyziologických důvodů přestoupit hodnotu :

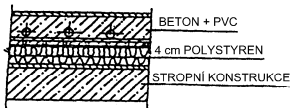
- $t_P = 27$ až 28 °C u místností pro trvalý pobyt (obytné místnosti, kanceláře, ...),
- $t_P = 30$ až 32 °C u pomocných místností, kde člověk jen příležitostně přechází (předsíně, chodby, schodiště, ...),
- $t_P = 32$ až 34 °C u místností, kde člověk převážně chodí bos (plovárny, lázně, koupelny ...).

Při daných výchozích teplotách t_m a t_i závisí střední povrchová teplota t_P především na rozteči trubek l . Ostatní veličiny jsou buď přibližně konstantní nebo mají na výsledek jen malý vliv. Ze základních rovnic lze sestavit pomocný diagram pro určení střední povrchové teploty. Z diagramů lze také odečítat měrný tepelný výkon otopné plochy

$$q = \alpha_P (t_P - t_i) \quad [\text{W/m}^2]$$

a měrný tepelný tok podlahové otopné plochy směrem dolů při stejných vnitřních teplotách nad otopnou plochou i pod ní

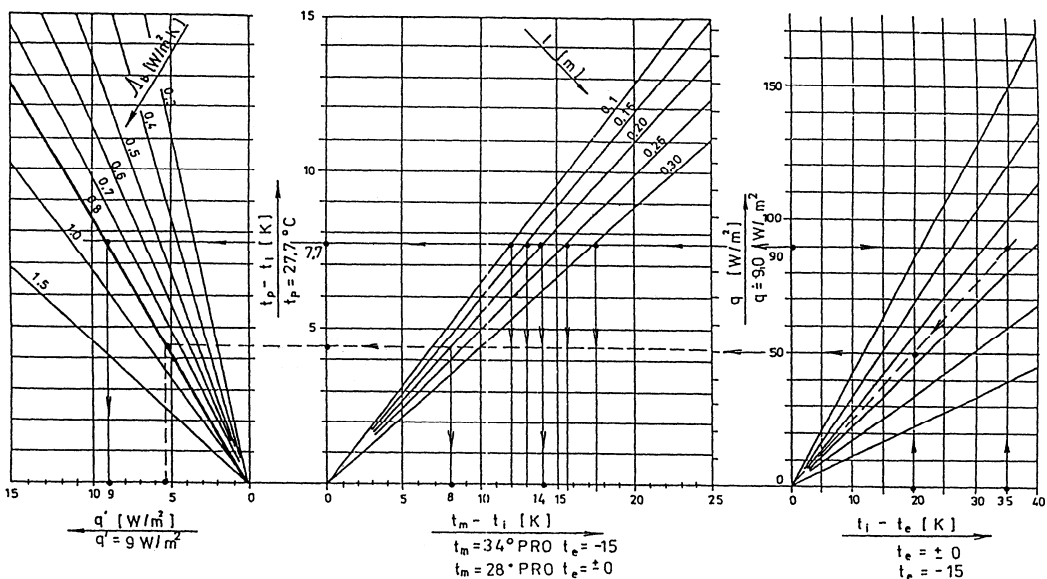
$$q' = \Lambda_b \frac{\alpha'_P}{\Lambda_a} (t_P - t_i) \quad [\text{W/m}^2].$$



$\Lambda_a = 8,0$

$\Lambda_b = 0,80$

$m = 9,0$



Obr. 40 Návrhový nomogram pro podlahovou otopnou plochu s charakteristickým číslem $m = 9$

Při rozdílných teplotách na obou stranách podlahy $t_i \neq t'_i$ se počítá měrný tepelný tok na spodní straně podlahy ze vztahu

$$q' = \Lambda_b \frac{\alpha'_P}{\Lambda_a} (t_P - t_i) + \Lambda_b (t_i - t'_i). \quad [\text{W/m}^2]$$

Tento tepelný tok představuje ztrátu tepla, kterou je třeba co nejvíce omezit. V případě, kdy je pod podlahou nevytápěná místnost, je nutno volit větší tepelný odpor vrstvy pod trubkami $1/\Lambda_b$ než u místností ve vyšších podlažích. Nejčastěji se požaduje, aby tepelná ztráta směrem dolů q' nebyla větší než 10 až 15 % užitečného tepelného výkonu q . Tepelný odpor vrstvy pod trubkami je třeba zvětšit na hodnotu:

$$\frac{1}{\Lambda_b} = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{\Lambda_a} + \frac{t_i - t'_i}{q} \right) \quad \Rightarrow \Lambda_b \Rightarrow b_{\text{izolace}}, \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$$

kde poměr n se volí obvykle 0,05 až 0,15.

Pro místnosti ležící pod jinými vytápěnými místnostmi se celková otopná plocha určí ze vztahu

$$S_P = \frac{Q_c}{q + q'}, \quad [\text{m}^2]$$

kde Q_c je celková tepelná ztráta místnosti.

Tab. 13 Tepelná propustnost Λ_a podlahových vrstev

Skladba vrstev podlahy směrem a	Λ_a (W/m ² .K)
Beton + lepená keramická dlažba	8,0
Beton + keramická dlažba na maltu	7,0
Beton + PVC	8,0
Beton + jekor	5,5
Beton + vlysky	4,5
beton + kovral	3,8
beton bez povrchové vrstvy	8,5
beton s armovacím železem	9,3

U místností v přízemí či v nejvyšším podlaží se otopná plocha počítá ze vztahu

$$S_P = \frac{Q_c}{q} \quad [\text{m}^2]$$

a celkový tepelný příkon otopné plochy Q_{PC} je pro oba případy dán vztahem

$$Q_{PC} = (q + q') \cdot S_P. \quad [\text{W}]$$

Tab. 14 Tepelná propustnost Λ_b podlahových vrstev

Skladba vrstev podlahy směrem b	Λ_b (W/m ² .K)
Ocelobetonová deska, vyrovnávací vrstva, KARI síť	3,2
Ocelobetonový dutinový panel, vyrovnávací vrstva, KARI síť	2,2
strop MIAKO (HURDIS), KARI síť	1,8
Ocelobetonová deska, vyrovnávací vrstva, polystyrén 4 cm, PE, KARI síť	0,8
dutinový panel + vyrovnávací vrstva, polystyrén 4 cm, PE, KARI síť	0,7
strop MIAKO + vyrovnávací vrstva, polystyrén 4 cm, PE, KARI síť	0,67
Ocelobetonová deska, vyrovnávací vrstva, polystyrén 6 cm, PE, KARI síť	0,6
Dutinový panel + vyrovnávací vrstva, polystyrén 6 cm, PE, KARI síť	0,55
Strop Miako + vyrovnávací vrstva, polystyrén 6 cm, PE, KARI síť	0,5
Beton, lepenka, vyrovnávací vrstva, polystyrén 6 cm, PE, KARI síť na rostlé půdě	0,35

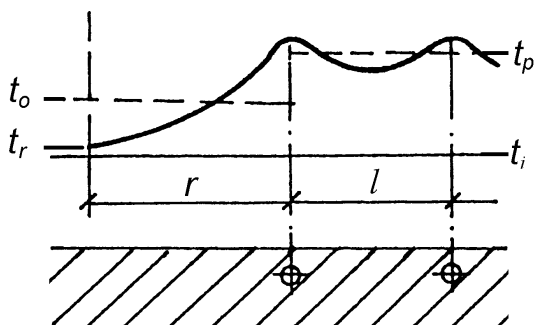
Tab. 15 Měrný tepelný tok q v závislosti na vnitřní teplotě t_i a teplotě povrchu t_p

t_i [°C]	t_{pmax} [°C]			q [W/m ²]
	26	29	33	
15	130	160	210	
18	90	125	175	
20	70	100	150	
24	20	60	105	

Tab. 16 Tepelný odpor nejběžnějších podlahových krytin

Podlahová krytina	Tepelný odpor R [m ² .K/W]
PVC	0,01
Keramické dlaždice	0,02
Vlasy z tvrdého dřeva	0,04
PVC s pryží	0,05
Koberec (podle výšky)	0,07 až 0,22

Skutečný výkon podlahové otopné plochy je větší o tepelný tok, který sdílí okrajová plocha, ve které nejsou položeny trubky.



Šířka okraje r respektive vzdálenost krajní trubky otopného hadu od stěny závisí na charakteristickém čísle podlahy m , což vyjadřuje empirický vztah

$$r = \frac{2,3}{m} \quad [\text{m}]$$

Obr. 41 Průběh povrchové teploty pro okrajovou plochu

Tato šířka okraje, tedy vzdálenost první trubky otopného hadu od stěny se respektuje pouze při přesném návrhu rozmístění otopného hadu v podlaze. Tepelný výkon okrajové plochy Q_o je vyjádřen vztahem

$$Q_o = Q_P \cdot \frac{O_P}{S_P} \cdot \frac{0,448 \cdot l}{\operatorname{tgh}\left(m \cdot \frac{l}{2}\right)}, \quad [\text{W}]$$

kde O_P [m] obvod otopné podlahové plochy vymezený krajními trubkami,
 S_P [m²] otopná podlahová plocha ohraničená krajní trubkou.

Vliv nábytku na vysokých nohách je možné zanedbat. V ploše pod nábytkem s nízkýma nohama se výkon podlahové otopné plochy snižuje o více jak 50 % a u nábytku se soklem o více jak 90 % či se zcela zanedbává.

7.3 Hydraulický výpočet podlahového vytápění

Rozeznáváme tlakové ztráty třením a místními odpory. Obecný a základní vztah pro výpočet celkových tlakových ztrát tak nabývá tvaru

$$\Delta p_z = \Delta p_\lambda + \Delta p_\xi, \quad [\text{Pa}]$$

kde Δp_z [Pa] celková tlaková ztráta otopného hadu,
 Δp_λ [Pa] tlaková ztráta třením,
 Δp_ξ [Pa] tlaková ztráta místními odpory.

Délky potrubí jednotlivých otopných hadů by měly být přibližně stejné, aby vyvážení (zaregulování) tlakových ztrát jednotlivých okruhů u podlažního rozdělovače bylo co nejjednodušší a vysoké zaškrcení některého z otopných hadů nepůsobilo provozní potíže. Jednotlivé okruhy by neměly přesáhnout 120 m, a tak nás tento požadavek mnohdy nutí dělit otopnou plochu na více okruhů.

Při hydraulickém výpočtu je potřeba nejdříve určit, z celkového tepelného výkonu Q_{PC} a ochlazení teplotnosné látky v okruhu Δt , hmotnostní průtok otopným hadem M

$$M = \frac{Q_{PC}}{c \cdot \Delta t}, \quad [\text{kg/s}]$$

kde $Q_{PC} = Q_P + Q'_P$ [W] celkový výkon navrhovaného tepelného okruhu,
 c [J/kg.K] měrná tepelná kapacita teplotnosné látky,
 Δt [K] ochlazení na otopném hadu.

Tlaková ztráta třením je vyjádřena rovnicí

$$\Delta p_\lambda = R \cdot l_P \quad [\text{Pa}]$$

V této rovnici značí l_p délku trubek otopného hadu. Tuto délku je možno pro různý způsob uložení určit takto :

- pro plošnou spirálu

$$l_p = n \cdot \left\{ (A - l_o) - \sum b - 2 \left(R + \left(\frac{3}{2} + \frac{d}{R} \right) \right) \cdot \sqrt{3R^2 - l \left(\frac{l}{4} + R \right)} \right\} + R \cdot (n - 1) \cdot \left(3 - 4 \arcsin \frac{\frac{l}{4} + R}{2R} \right)$$

- pro meandrovou pokládku

$$l_p = n \cdot (A + l - l_o - \sum b - (4 - \pi) \cdot R), \quad [\text{m}]$$

kde : l [m] rozteč trubek,
 A [m] délka místnosti,
 l_o [m] délka části místnosti bez otopného hadu,
 $\sum b$ [m] vzdálenost krajních trubek od svislých konstrukcí,
 R [m] poloměr zakřivení oblouku,
 d [m] průměr trubky,
 n [-] počet řad trubek otopného hadu.

Pro častěji využívané meandrové pokládky je spotřeba trubek l_p vtažená na m^2 plochy uvedena v tab. 17.

Tab. 17 Spotřeba potrubí u meandrové pokládky

Rozteč trubek l [cm]	5	10	15	20	25	30
Spotřeba trubek l_p [m/m ²]	20	10	7	5	3,8	3,5

Měrná tlaková ztráta (tlakový spád) R se určí

$$R = \frac{\lambda}{d_i} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho, \quad [\text{Pa/m}]$$

kde λ [-] součinitel třecí ztráty,
 d_i [m] vnitřní průměr potrubí,
 ρ [kg/m³] hustota teplotonosné látky.

Tlaková ztráta místními odpory je určena vztahem

$$\Delta p_z = \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho, \quad [\text{Pa}]$$

kde ξ [-] je součinitel místního odporu.

U podlahové otopné plochy jsou místními odpory pouze oblouky otopného hadu. Součinitel místního odporu není tedy srovnatelný s běžně využívanými součiniteli ve vytápění a závisí

na poloměru zakřivení R a na úhlové míře φ . Součinitel místního odporu pro úhel 90° lze určit ze vztahu:

$$\xi_{90} = 0,034083 + 0,744580769 \cdot \ln \frac{R}{d} \quad [-]$$

Pro větší hodnoty úhlů jak 180° je místní odpor zanedbatelný a postupuje se tak, jako by potrubí mělo pouze ztrátu třením. Suma místních odporů je určena:

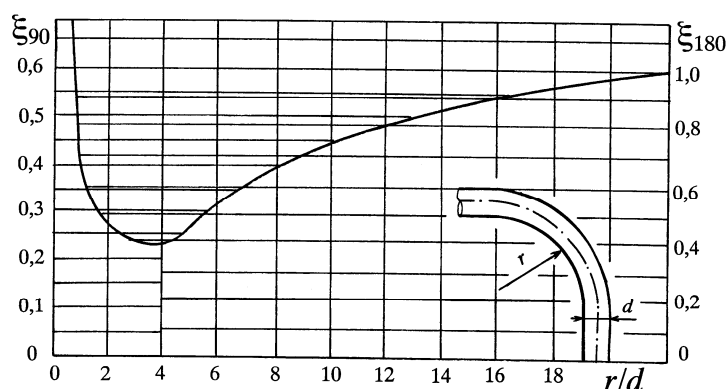
- pro plošnou spirálu

$$\sum \xi = (n-1) \cdot \xi_{\varphi} \quad [-]$$

- pro meandrový způsob kladení

$$\sum \xi = 2 \cdot (n-1) \cdot \xi_{\varphi} \quad [-]$$

kde n [-] počet řad trubek otopného hadu,
 ξ_{φ} [-] je součinitel místního odporu oblouku o úhlu φ .



Obr. 42 Součinitel místního odporu pro oblouk 90 a 180°

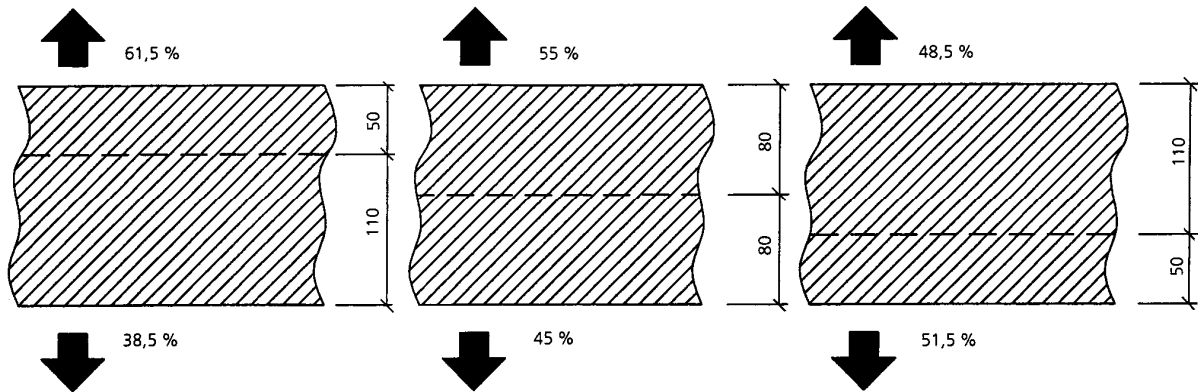
8. Elektrické podlahové vytápění

Elektrické podlahové vytápění patří mezi lokální systémy vytápění. Pro principy sdílení tepla otopnou plochou a z otopné plochy do vytápěného prostoru platí stejné zásady, jako u teplovodního podlahového vytápění. Elektrické podlahové vytápění může zajišťovat tepelnou pohodu ve vytápěném prostoru jako základní zdroj tepla, nebo sloužit pouze jako doplňková otopná plochy pro zajištění např. lokální tepelné pohody v oblasti nohou.

8.1 Základní typy elektrického podlahového vytápění

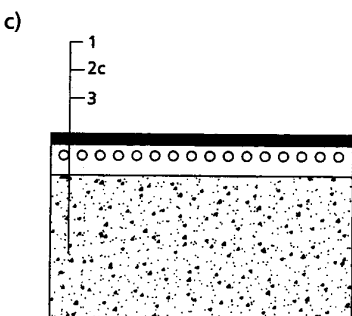
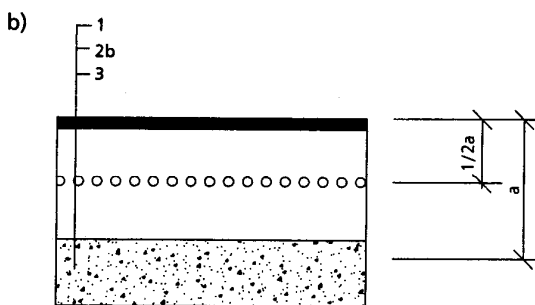
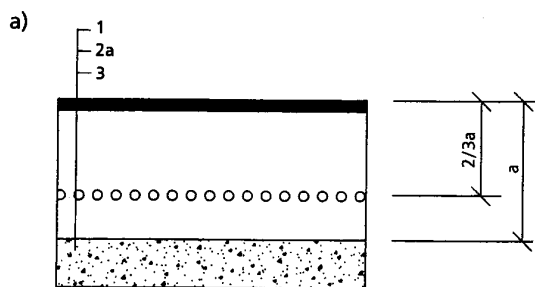
Skladba podlahové otopné plochy závisí na požadovaném pracovním režimu. Podle něj můžeme elektrickou podlahovou plochu rozdělit na plně akumuláční (časová konstanta 8 až

12 hod.) poloakumulační (časová konstanta 4 až 8 hod.) a přímotopnou (časová konstanta do 4 hod.). Požadovaný pracovní režim tak určuje tloušťku akumulární vrstvy, hloubku uložení topných kabelů apod. Celková konstrukce podlahové otopné plochy a především hloubka uložení topných kabelů určují poměr, ve kterém se rozdělí tepelné toky směrem nahoru a dolů (obr. 43).



Obr. 43 Poměr rozdělení tepelných toků směrem nahoru a dolů u monolitické betonové vrstvy v závislosti na výšce uložení topných kabelů

Plně akumulární režim zajišťuje betonová akumulární vrstva (deska), jejíž tloušťka se pohybuje od 90 do 150 mm. Topné prvky jsou kladeny do jedné třetiny, a tak betonáž probíhá dvoufázově. Pod otopnou plochou je třeba instalovat kvalitní tepelnou izolaci ve výšce min. 50 až 60 mm. Instalovaný příkon se pohybuje od 160 do 200 W/m².



Poloakumulační režim vykazuje časovou konstantu v rozmezí 4 až 8 hod. Akumulární betonová vrstva má obvykle tloušťku od 60 do 90 mm a rovina uložení topných prvků vychází přibližně do poloviny. Instalovaný příkon se pohybuje od 120 do 160 W/m².

Přímotopný režim poskytuje mnohem větší dynamičnost. Časová konstanta je menší než 4 hod. a u praktických aplikací většinou nabývá hodnot 30 až 90 min. Betonová vrstva slouží pouze k uložení topných prvků a její tloušťka je max. do 50 mm (obr. 44). Nejčastější aplikace vykazuje kladení topných prvků do lepidla těsně pod nášlapnou vrstvu (dlažba). Instalovaný příkon se pohybuje od 80 do 140 W/m².

Obr. 44 Schématické znázornění konstrukce elektrické podlahové otopné plochy pro různé režimy vytápění:

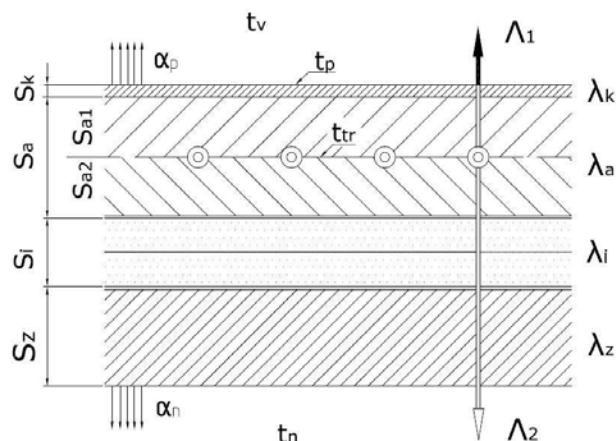
a) akumulární; b) poloakumulární; c) přímotopný
(1 – podlahová krytina, 2 – akumulární vrstva, 3 – rovina uložení topného kabelu)

8.2 Tepelně technický výpočet elektrického podlahového vytápění

Při návrhu elektrické podlahové otopné plochy se respektují následující okrajové podmínky:

- celková tepelná ztráta místnosti,
- určení a charakter vytápěného prostoru (obývací pokoj, koupelna, ložnice apod.),
- provozní režim užívání místnosti (trvalý, občasný atd.),
- provozní režim systému vytápění (plně akumulční, poloakumulční, přímotopný),
- dispoziční velikost podlahové plochy pro pokládku topných prvků,
- volba podlahové krytiny.

Při výpočtu se vychází z návrhu skladby podlahové otopné plochy (obr. 45). Skladba jednotlivých vrstev a její optimální návrh je důležitá pro budoucí optimální fungování otopné plochy. Tepelný odpor navržených vrstev ovlivňuje povrchovou teplotu topných kabelů, u kterých nesmíme překročit maximální hodnotu stanovenou výrobcem. Při nedodržení dochází k přehřívání izolačních obalů a jejich následné degradaci. Musíme tak zajistit dobrý odvod tepla z roviny uložení topných kabelů. Toho dosáhneme použitím materiálu (mazanina v okolí kabelů) s tepelnou vodivostí větší než 0,1 W/m.K.



Obr. 45 Řez podlahovou konstrukcí s topnými kabely

Tepelné toky z roviny uložení topných kabelů v obou směrech vyjadřují tepelné propustnosti směrem nahoru Λ_1 a směrem dolů Λ_2 . Chceme-li zajistit hospodárny provoz podlahové otopné plochy měly by se pohybovat v určitých poměrech, v závislosti na tepelných a teplotních podmínkách prostoru pod vytápěnou místností. Pak lze uvažovat:

- a) $\Lambda_1 \geq 4 \cdot \Lambda_2$ pro případ, kdy je pod podlahou vytápěný prostor,
- b) $\Lambda_1 \geq 6 \cdot \Lambda_2$ pro případ, kdy je pod podlahou nevytápěný prostor nebo rostlá půda,
- c) $\Lambda_1 \geq 6,5 \cdot \Lambda_2$ pro případ, kdy je pod podlahou venkovní prostředí.

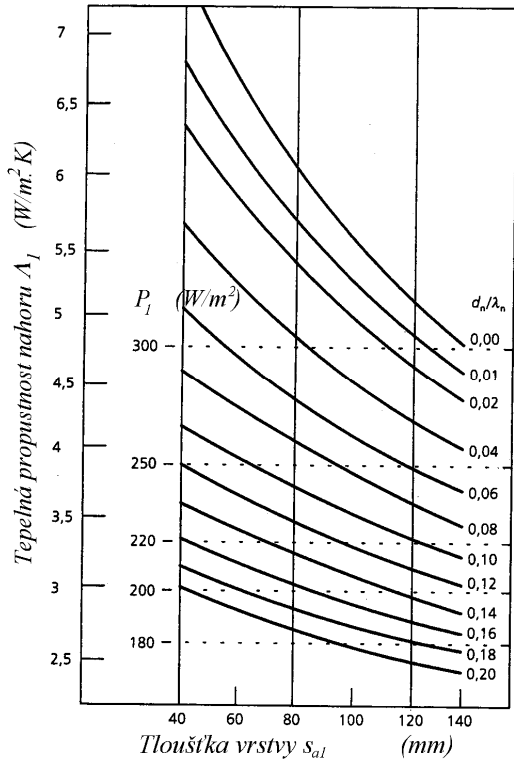
Tepelná propustnost směrem nahoru do vytápěné místnosti Λ_1 je dána vztahem

$$\Lambda_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p} + \sum \frac{s_{a,i}}{\lambda_{a,i}}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p} + \frac{s_{a1}}{\lambda_a} + \frac{s_k}{\lambda_k}}, \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$$

- kde
- α_p [W/m².K] je celkový součinitel přestupu tepla podlahy,
 - s_{a1} [m] tloušťka akumulční vrstvy nad rovinou kabelů,
 - s_k [m] tloušťka podlahové krytiny,
 - λ_a [W/m.K] součinitel tepelné vodivosti akumulční vrstvy,
 - λ_k [W/m.K] součinitel tepelné vodivosti podlahové krytiny.

Tepelná propustnost směrem dolů pod vytápěnou místnost Λ_2 je dána vztahem

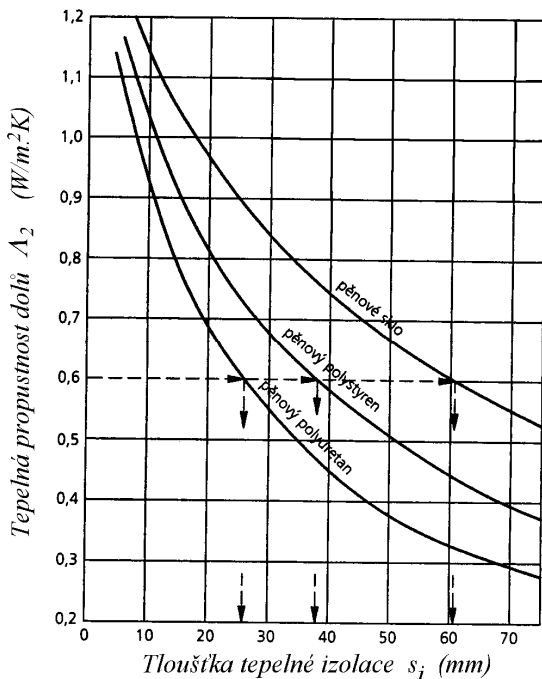
$$\Lambda_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{s_{n,i}}{\lambda_{n,i}}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \frac{s_{a2}}{\lambda_a} + \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{s_z}{\lambda_z}}, \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$$



kde α_n [W/m²·K] je celkový součinitel přestupu tepla na spodní straně podlahy,
 s_{a2} [m] tloušťka akumulární vrstvy pod rovinou kabelů,
 s_i [m] tloušťka tepelné izolace,
 s_z [m] tloušťka základní desky podlahy,
 λ_a [W/m·K] součinitel tepelné vodivosti akumulární vrstvy,
 λ_i [W/m·K] součinitel tepelné vodivosti tepelně izolační vrstvy,
 λ_z [W/m·K] součinitel tepelné vodivosti základní desky podlahové konstrukce.

Závislost tepelné propustnosti směrem nahoru do vytápěného prostoru Λ_1 na tepelném odporu akumulární vrstvy nad rovinou kabelů s_{a1}/λ_a ukazuje obr. 46. Na obr. 47 můžeme vidět závislost tepelné propustnosti směrem dolů Λ_2 na druhu a tloušťce tepelné izolace s_i .

Obr. 46 Závislost tepelné propustnosti směrem nahoru do vytápěného prostoru Λ_1 na tepelném odporu akumulární vrstvy nad rovinou kabelů s_{a1}/λ_a



Obr. 47 Závislost tepelné propustnosti směrem dolů Λ_2 na druhu a tloušťce tepelné izolace s_i .

8.3 Provedení otopné plochy a časová konstanta

Podlahová otopná plocha by měla být provedena tak, aby byla schopna postupně vydávat teplo akumulované ve hmotě do vytápěného prostoru. Tento požadavek je důležitý vzhledem k zajištění tepelné pohody ve vytápěném prostoru i v časových periodách, kdy není do otopných hadů dodávána elektrická energie. U elektrického podlahového vytápění není odběr elektrické energie (až na výjimky) nepřetržitý jako u jiných způsobů vytápění. Protože je systém provozován s přestávkami, musí

akumulační schopnost zajistit, aby ani na konci vybíjení tepla nepoklesla průměrná povrchová teplota podlahy pod 23 °C.

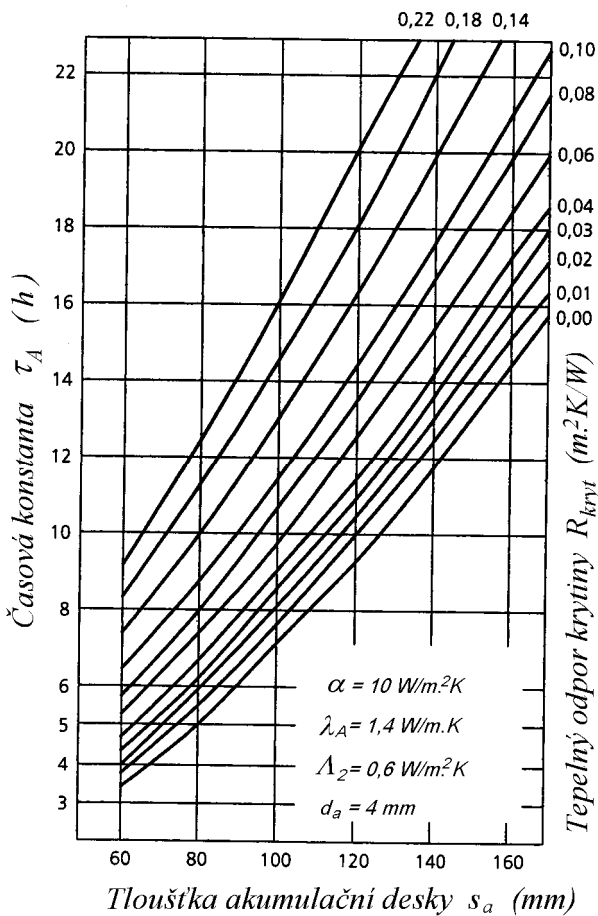
O akumulační schopnosti rozhoduje především plošná hmotnost betonové vrstvy nad topnými kabely a její tepelná vodivost. Mírou akumulace je časová konstanta τ_A , což je doba, za kterou se při nabíjení ohřeje akumulační vrstva o 1 K.

$$\tau_A = \frac{s_a \cdot c_a \cdot \rho_a}{\Lambda_1 + \Lambda_2}, \quad [s]$$

- kde :
- | | | |
|-------------|-----------------------|---|
| s_a | [m] | tloušťka akumulační vrstvy, |
| c_a | [J/kg.K] | měrná tepelná kapacita akumulační vrstvy, |
| ρ_a | [kg/m ³] | hustota akumulační vrstvy, |
| Λ_1 | [W/m ² .K] | tepelná propustnost od roviny uložení kabelů směrem nahoru do vytápěné místnosti, |
| Λ_2 | [W/m ² .K] | tepelná propustnost od roviny uložení kabelů směrem dolů. |

Časová konstanta u plně akumulačních podlah má být nejméně 8 hodin a nejlépe 10 až 12 hodin. U budov s celodenním provozem se žádá ještě více, až 15 hodin. Poloakumulační soustavy mají τ_A od 4 do 8 hodin a soustavy s časovou konstantou kratší než 4 hodiny se již označují jako prakticky přímotopné. Požadovaný výkon otopné plochy se musí pokrýt příslušnou délkou kabelu o konstantním výkonu (W/m). Délka jednoho topného okruhu je

dána přípustným zatížením na 12 m délky kabelu, které vychází z hlediska dlouhodobé životnosti.



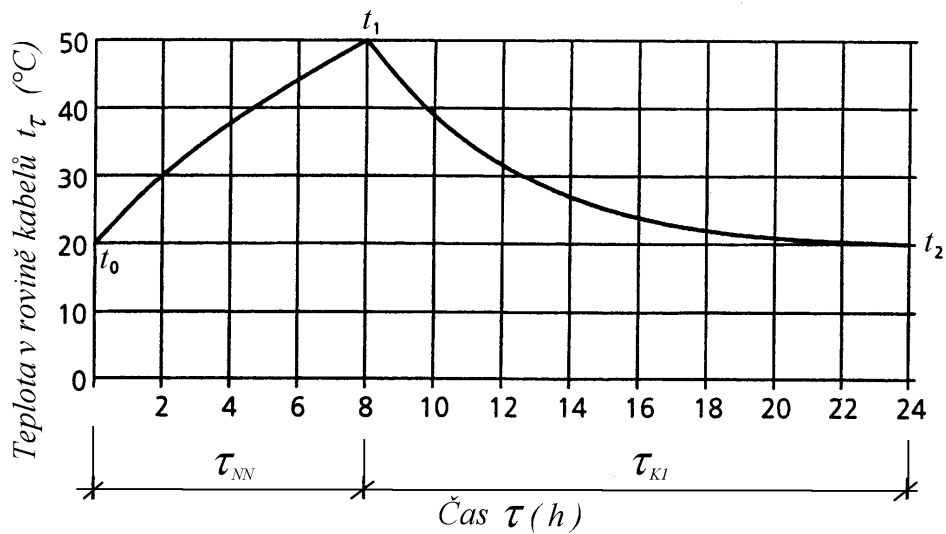
Z výše uvedeného vztahu je patrné, že velikost časové konstanty τ_A závisí na skladbě podlahové konstrukce. Závislost časové konstanty na tloušťce akumulační vrstvy s_a a velikosti tepelného odporu podlahové krytiny R_k ukazuje obr. 48. Z obrázku je patrné, že zvětšení časové konstanty dosáhneme zvýšením akumulační vrstvy především nad rovinou topného kabelu. Větší odpor podlahové krytiny bude působit rovněž na zvětšení časové konstanty ale rovněž bude ovlivňovat poměr tepelného toku jdoucího dolů a teplotu v okolí topných kabelů, což může za určitých okolností vést ke snížení jejich životnosti. Proto je třeba volit pouze doporučené podlahové krytiny pro elektrické podlahové vytápění a kontrolovat výpočtem teplotu v rovině uložení topných kabelů.

Obr. 48 Závislost časové konstanty na tloušťce akumulační vrstvy s_a a velikosti tepelného odporu podlahové krytiny R_k

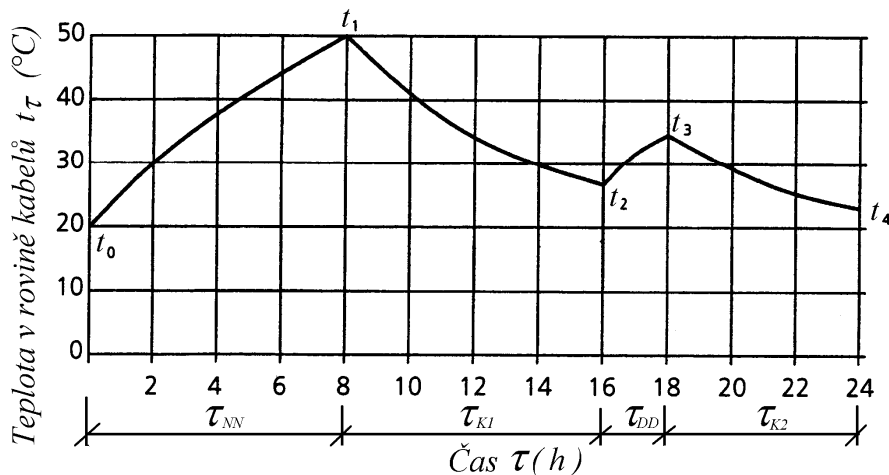
Na trhu se objevují i topné rohože, které usnadňují realizaci podlahových otopných soustav. Základem takové rohože je podkladové kovové pletivo nebo tkanina šířky 0,5 až 1,0 m s pravidelnou čtvercovou strukturou. Na tomto podkladu je naformován meandr z topných kabelů s příslušnou roztečí. Rozteč spolu s měrným lineárním zatížením rozhoduje o velikosti měrného instalovaného příkonu na 1 m² topné rohože.

8.4 Teplotní poměry v otopné ploše

Dále popisované vztahy pro průběh teplot v rovině topných kabelů vycházejí z obr. 49 a 50 pro plně akumulční a poloakumulční režim vytápění.



Obr. 49 Teploty v rovině uložení topných kabelů během pracovního cyklu u plně akumulční podlahy



Obr. 50 Teploty v rovině uložení topných kabelů během pracovního cyklu u poloakumulční podlahy

Vzhledem k tomu, že je odběr elektrické energie přerušovaný, je teplotní pole na úrovni topných prvků nehomogenní. Při výpočtu se tak uvažuje střední teplota v rovině uložení topných kabelů, která se ustálí po „nekonečně“ dlouhé době nabíjení, resp. cyklů v jedné

čtvrtině vzdálenosti mezi dvěma sousedními vodiči. Teplota ve střední rovině uložení kabelů pro **plně akumulacní** podlahu je určena

$$t_{\tau, \infty} = \frac{P_M + A_1 \cdot t_i + A_2 \cdot t_i'}{A_1 + A_2}, \quad [^{\circ}\text{C}]$$

kde P_M [W/m²] je měrný instalovaný výkon zdroje tepla,
 t_i [°C] vnitřní výpočtová teplota,
 t_i' [°C] vnitřní výpočtová teplota pod vytápěnou místností,
 A_1 [W/m².K] tepelná propustnost od roviny uložení kabelů směrem nahoru do vytápěné místnosti,
 A_2 [W/m².K] tepelná propustnost od roviny uložení kabelů směrem dolů.

Za předpokladu, že na začátku nabíjení akumulacní vrstvy v čase $\tau = 0$ je v rovině uložení topných kabelů $t_{\tau} = t_{\tau 0}$, tj. t_i , platí pro průběh teploty ve střední rovině uložení kabelů vztah

$$t_{\tau} = t_{\infty} + (t_{\tau 0} - t_{\infty}) \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_A}}. \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Střední teplotu na povrchu podlahy během cyklu nabíjení lze odvodit z teploty v rovině uložení topných kabelů t_{τ} a teploty vzduchu nad podlahou t_i (uvažujeme vnitřní výpočtovou teplotu) v podobě vztahu

$$t_p = \left(1 - \frac{A_1}{\alpha_p}\right) \cdot t_i + \frac{A_1}{\alpha_p} \cdot \left[t_{\infty} + (t_{\tau 0} - t_{\infty}) \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_A}} \right], \quad [^{\circ}\text{C}]$$

kde τ_A [s] je časová konstanta podlahy,
 τ [s] čas na počátku, tj. $\tau = 0$.

Tato teplota by neměla překročit hygienicky přípustnou hodnotu (viz teplovodní podlahové vytápění). Hranatá závorka na pravé straně rovnice není nic jiného, než teplota v rovině uložení topných kabelů t_{τ} . Po ukončení základního cyklu nabíjení, tj. po uplynutí času τ_{NN} se přívod elektrické energie přeruší, tedy $P_1 = 0$, a následuje vybíjení podlahy. Po „nekonečně“ dlouhé době ochlazování (cyklů) se střední teplota v rovině uložení topných kabelů ustálí. Tu určíme ze vztahu

$$t_{\infty}^* = \frac{A_1 \cdot t_i + A_2 \cdot t_i'}{A_1 + A_2}. \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Na začátku vybíjení (mnoha cyklů vybíjení) je teplota v rovině uložení kabelů rovna konečné teplotě na konci nabíjení (mnoha cyklů nabíjení). To znamená, že v čase $\tau = 0$ je $t_{\tau} = t_{\tau 1}$ a teplota v rovině uložení topných kabelů se určí ze vztahu

$$t_{\tau 1} = t_{\infty} + (t_{\tau 0} - t_{\infty}) \cdot e^{-\frac{\tau_{NN}}{\tau_A}}, \quad [^{\circ}\text{C}]$$

kde $t_{\tau 0} = t_i$ a τ_{NN} je doba nabíjení (cyklu nabíjení).

Pro teploty v rovině uložení topných kabelů během cyklu vybíjení po fázi nabíjení platí vztah

$$t_{\tau} = t_{\infty}^* + (t_{\tau 1} - t_{\infty}^*) \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_A}}, \quad [^{\circ}\text{C}]$$

kde $\tau = \tau$ až τ_{K1} je doba vybíjení.

Pro teploty na povrchu podlahy během cyklu vybíjení po fázi nabíjení platí vztah

$$t_p = \left(1 - \frac{A_1}{\alpha_p}\right) \cdot t_i + \frac{A_1}{\alpha_p} \cdot \left[t_{\infty}^* + (t_{\tau 1} - t_{\infty}^*) \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_A}} \right], \quad [^{\circ}\text{C}]$$

kde $\tau = \tau$ až τ_{K1} a hranatá závorka na pravé straně rovnice představuje t_{τ} z předchozího vztahu.

U **poloakumulačního** režimu vytápění následuje po ukončení doby (cyklu) vybíjení doba (cyklus) doplňkového nabíjení. Nárůst teploty na povrchu podlahy lze určit z uvedeného vztahu pro střední teplotu na povrchu podlahy během cyklu nabíjení t_p (v této podkapitole uveden jako třetí vzorec), ale místo teploty $t_{\tau 0}$ je potřebné dosadit teplotu na konci vybíjení $t_{\tau 2}$ po uplynutí času τ_{K1} . Tu určíme ze vztahu

$$t_{\tau 2} = t_{\infty}^* + (t_{\tau 1} - t_{\infty}^*) \cdot e^{-\frac{\tau_{K1}}{\tau_A}}, \quad [^{\circ}\text{C}]$$

kde $t_{\tau 1}$ je teplota na začátku vybíjení.

Teplota povrchu podlahy během cyklu doplňkového nabíjení se stanoví

$$t_p = \left(1 - \frac{A_1}{\alpha_p}\right) \cdot t_i + \frac{A_1}{\alpha_p} \cdot \left[t_{\infty} + (t_{\tau 2} - t_{\infty}) \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_A}} \right], \quad [^{\circ}\text{C}]$$

kde $\tau = \tau$ až τ_{DD} a τ_{DD} je doplňková nabíjecí doba.

Na konci doplňkového nabíjení po uplynutí doby τ_{DD} bude teplota v rovině uložení topných kabelů

$$t_{\tau 3} = t_{\infty} + (t_{\tau 2} - t_{\infty}) \cdot e^{-\frac{\tau_{DD}}{\tau_A}}. \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Po doplňkovém nabíjení následuje druhá doba vybíjení. Během tohoto cyklu teplota na povrchu podlahy klesá a její hodnotu vyjádříme vztahem pro teplotu podlahy během druhé doby vybíjení

$$t_p = \left(1 - \frac{A_1}{\alpha_p}\right) \cdot t_i + \frac{A_1}{\alpha_p} \cdot \left[t_{\infty}^* + (t_{\tau 3} - t_{\infty}^*) \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_A}} \right], \quad [^{\circ}\text{C}]$$

kde $\tau = \tau$ až τ_{K2} .

Teplota na konci cyklu druhého vybíjení po uplynutí času τ_{K2} bude vyjádřena vztahem

$$t_{\tau 4} = t_{\infty}^* + (t_{\tau 3} - t_{\infty}^*) \cdot e^{-\frac{\tau_{K2}}{\tau_A}} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

V praxi, kdy elektrická podlahová otopná plocha pracuje delší dobu ve stejných pracovních cyklech nabíjení, vybíjení, doplňkové nabíjení a vybíjení se teplota v rovině uložení elektrických topných kabelů stabilizuje a bude na začátku a konci každého pracovního cyklu shodná, tj. bude platit $t_{\tau 4} = t_{\tau 0}$.

8.5 Tepelné toky a tepelný příkon otopné plochy

Pro výpočet tepelných toků používáme podobný postup, jako je tomu u teplovodního podlahového vytápění. Měrný tepelný výkon otopné plochy směrem nahoru do vytápěného prostoru se určí ze vztahu

$$q = A_1 \cdot (t_{\tau} - t_i) = \alpha_p \cdot (t_p - t_i), \quad [\text{W/m}^2]$$

kde	t_i	[$^{\circ}\text{C}$]	vnitřní výpočtová teplota,
	t_p	[$^{\circ}\text{C}$]	povrchová teplota podlahy,
	t_{τ}	[$^{\circ}\text{C}$]	střední teplota v rovině kabelů v čase τ ,
	A_1	[$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]	tepelná propustnost od roviny uložení kabelů směrem do vytápěné místnosti,
	α_p	[$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]	celkový součinitel přestupu tepla podlahy.

Měrný tepelný výkon otopné plochy směrem dolů pod vytápěný prostor je dán

$$q' = A_2 \cdot (t_{\tau} - t'_i) = \alpha'_p \cdot (t'_p - t'_i), \quad [\text{W/m}^2]$$

kde	t'_i	[$^{\circ}\text{C}$]	vnitřní výpočtová teplota prostoru pod podlahou,
	t'_p	[$^{\circ}\text{C}$]	povrchová teplota podlahy ze spodní strany (stropu),
	t_{τ}	[$^{\circ}\text{C}$]	střední teplota v rovině kabelů v čase τ ,
	A_2	[$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]	tepelná propustnost od roviny uložení kabelů směrem pod vytápěnou místnost,
	α'_p	[$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]	celkový součinitel přestupu tepla pod podlahou (stropu).

V případech, kdy je prostor pod podlahou vytápěn uvažuje se tepelný výkon směrem dolů do 15 % celkového tepelného výkonu. Není-li prostor pod podlahou vytápěn neměl by tepelný výkon směrem dolů překročit 10 % celkového tepelného výkonu.

Při návrhu potřebného instalovaného příkonu se vychází z celkové tepelné ztráty vytápěné místnosti a z dispoziční plochy podlahy. Potřebnou velikost otopné plochy (velikost pro pokládku kabelů) určíme s ohledem na ztrátovost tepelných toků. Pro případ, kdy je nad a pod místností s podlahovou otopnou plochou vytápěný prostor platí

$$S_p = \frac{Q}{q + q'} \quad [\text{m}^2]$$

a pro případ nevytápěného prostoru pod podlahovou otopnou plochou (sklepy, rostlá půda) nebo se jedná o místnost v nejvyšším podlaží (nad půda či rovná střecha) platí

$$S_p = \frac{Q}{q}, \quad [\text{m}^2]$$

kde q $[\text{W}/\text{m}^2]$ je tepelný výkon podlahové otopné plochy směrem do vytápěného prostoru,
 q' $[\text{W}/\text{m}^2]$ je tepelný výkon podlahové otopné plochy směrem pod vytápěný prostor,
 Q $[\text{W}]$ celková tepelná ztráta vytápěného prostoru.

Celkový tepelný výkon pro oba výše zmíněné případy se určí

$$Q_p = (q + q') \cdot S_p. \quad [\text{W}]$$

V praxi je často používán zjednodušený, ne vždy akceptovatelný, způsob stanovení požadovaného příkonu přes přírážku k celkové tepelné ztrátě v rozmezí 10 až 30 %. Takto navrhované systémy bývají často předimenzovány, což se odráží jak v nedodržení lokální tepelné pohody v oblasti nohou, tak ve snížené životnosti topných kabelů.

Potřebný instalovaný příkon zdroje tepla pro plně akumuláční a poloakumuláční režim vytápění určíme ze vztahu

$$P = \frac{\tau}{\tau_{NN} + \tau_{DD}} \cdot Q_p, \quad [\text{W}]$$

kde $Q_p = (q + q') \cdot S_p$
 τ $[\text{s}]$ je celková doba provozu,
 τ_{NN} $[\text{s}]$ doba nabíjení (cyklu nabíjení),
 τ_{DD} $[\text{s}]$ doba doplňkového dobíjení (cyklu dobíjení),
 Q_p $[\text{W}]$ celkový tepelný výkon podlahové otopné plochy.

Potřebný instalovaný příkon zdroje tepla pro přímotopný režim vytápění určíme jako

$$P = Q_p. \quad [\text{W}]$$

Topné kabely se pokládají ve tvaru meandru. Vzdálenost mezi jednotlivými topnými kabely l závisí na měrném instalovaném příkonu P_M a zvoleném typu kabelu z hlediska jeho měrného výkonu (zatížení) P_{MZK} . Vzdálenost mezi jednotlivými topnými kabely určíme

$$l = \frac{P_{MZK}}{P_M}, \quad [\text{m}]$$

kde $P_M = \frac{P}{S_p}$ $[\text{W}/\text{m}^2]$ je měrný instalovaný příkon,
 P_{MZK} $[\text{W}/\text{m}]$ měrný instalovaný výkon (zatížení) topného kabelu.

Tab. 18 Vzdálenost topných kabelů l v závislosti na měrném výkonu P_{MZK}

Měrný výkon kabelu $P_{MZK} = 10$ W/m		Měrný výkon kabelu $P_{MZK} = 18$ W/m	
Měrný instalovaný příkon P_M [W/m ²]	Vzdálenost topných kabelů l [mm]	Měrný instalovaný příkon P_M [W/m ²]	Vzdálenost topných kabelů l [mm]
50	200	80	225
57	175	90	200
67	150	103	175
80	125	120	150
100	100	144	125
133	75	180	100
200	50	240	75

Pro přímotopný režim vytápění jsou voleny topné kabely s nižším měrným výkonem (např. 10 W/m). Pro plně akumulární a poloakumulární režim vytápění kabely s vyššími měrnými výkony. Vzdálenost topných kabelů l v závislosti na měrném instalovaném příkonu P_{MZK} ukazuje tabulka 18. Celková délka topného kabelu pro danou otopnou plochu se určí ze vztahu

$$L = \frac{P}{P_{MZK}}, \quad [\text{m}]$$

kde P [W] je potřebný celkový instalovaný příkon (výkon),
 P_{MZK} [W/m] měrný instalovaný výkon (zatížení) topného kabelu.

8.6 Doplnková otopná plocha

Pokud je k dispozici pro otopnou plochu malá část plochy podlahy či objekt má nepříliš dobré tepelně technické vlastnosti, tj. velkou měrnou tepelnou ztrátu či velké prosklené plochy, může se stát, že systém podlahového elektrického vytápění nepokryje svým výkonem celou tepelnou ztrátu místnosti. V tomto případě je potřeba navrhnout doplňkový systém vytápění, nebo vytvořit intenzivní okrajové otopné zóny, situované do míst s větší měrnou tepelnou ztrátou (např. pod okna, prosklenou stěnu, venkovní dveře apod.). Povrchová teplota intenzivních okrajových zón může být až 35 °C, protože se zde lidé zdržují pouze krátkodobě. Intenzivní okrajovou zónu vytvoříme kladením hustšího meandru v šířce maximálně do 1 m.

Měrný instalovaný příkon v intenzivní okrajové zóně P_{Mz} volíme v rozmezí 200 až 250 W/m². Příkon zdroje tepla v okrajové zóně P_z určíme podle vztahu

$$P_z = P - P_{\max}, \quad [\text{W}]$$

kde P [W] je potřebný instalovaný příkon,
 P_{\max} [W] dodatečný příkon základního zdroje tepla.

Velikost intenzivní okrajové zóny S_o bude

$$S_o = \frac{P_z}{P_{Mz}}, \quad [\text{m}^2]$$

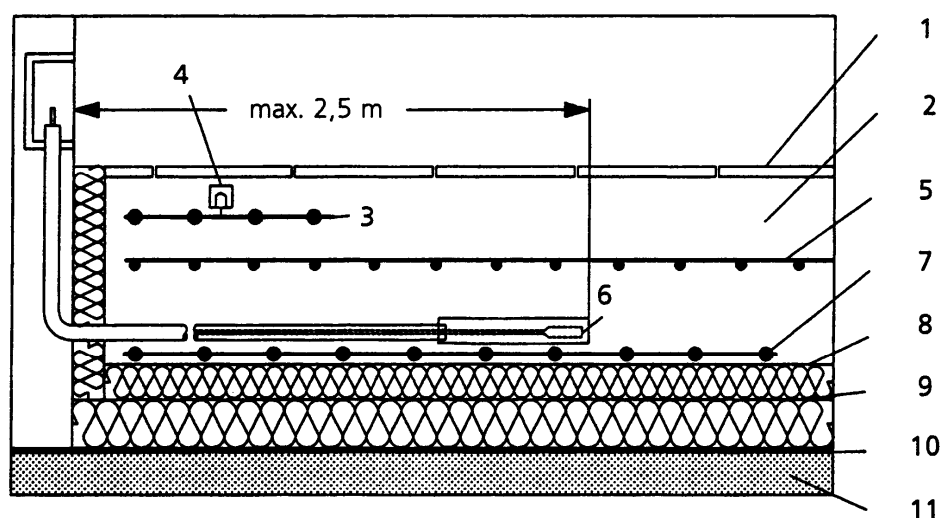
kde P_z [W] je příkon zdroje tepla v okrajové zóně,
 P_{Mz} [W/m²] měrný instalovaný příkon v intenzivní okrajové zóně.

Vzdálenost kladení topného kabelu v intenzivní okrajové zóně je

$$l_z = \frac{P_{MzK}}{P_{Mz}}, \quad [\text{m}]$$

kde P_{MzK} [W/m] měrný instalovaný výkon topného kabelu,
 P_{Mz} [W/m²] měrný instalovaný příkon v intenzivní okrajové zóně.

Okrajová intenzivní zóna je provozována v přímotopném režimu a má samostatnou regulaci. Schématický řez podlahovou konstrukcí s intenzivní okrajovou zónou a uložením topných kabelů vidíme na obr. 51.



Obr. 51 Akumulační elektrické podlahové vytápění s intenzivní okrajovou zónou
 1 – podlahová krytina, 2 – akumulční vrstva, 3 – rovina uložení kabelů intenzivní okrajové zóny, 4 – snímač teploty intenzivní okrajové zóny, 5 – armování podlahy, 6 – snímač teploty základní otopné plochy, 7 – rovina uložení topných kabelů základní otopné plochy, 8 – hydroizolační fólie, 9 – tepelná izolace, 10 – hydroizolace, 11 – základní deska

8.7 Konstrukce elektrické podlahové otopné plochy

Pro zhotovení elektrické podlahové otopné podlahy se dnes používají tři typy aktivních prvků:

- elektrické topné kabely (termokabely),
- elektrické topné rohože,
- elektrické topné fólie.

Elektrický topný (odporový) kabel je složen z odporového jádra, jednoduchého nebo dvojitého izolačního obalu a případných ochranných prvků. Vlastní konstrukce topných kabelů a vlastnosti použitých izolačních obalů, zvláště pak jejich tepelná vodivost a dlouhodobá tepelná odolnost, mají podstatný vliv na jejich životnost.

V odporovém jádru dochází k přímé přeměně elektrické energie v energii tepelnou. Podle konstrukce je můžeme rozdělit do třech skupin na:

- odporové dráty,
- odporová lanka,
- polovodivé polymerní směsi mezi dvěma vodiči z měděných lanek.

Odporová jádra mohou mít kruhový průřez nebo mohou být zhotovena ve tvaru plochého pásu. Vyrábějí se ze slitin mědi s přísadou niklu, manganu či chromu. Mají poměrně malý součinitel tepelné roztažnosti. Dodávány jsou průměry 1 až 4 mm, s tepelným výkonem od 5 do 70 W/m. Zvláštní skupinu topných kabelů tvoří samoregulační vodiče. Ty jsou tvořeny dvěma měděnými lanky, mezi nimiž je můstek z teplotně závislého odporového prvku. Výkon kabelu s rostoucí teplotou klesá po celé jeho délce a naopak.

Izolační obal na bázi polymerů je jednoduchý nebo dvojitý. Obal by se měl vyznačovat dobrými elektroizolačními vlastnostmi, vysokou tepelnou vodivostí a vyhovujícími mechanickými vlastnostmi. Ochranné prvky představují kovové opletení, opláštění nebo jejich kombinaci. Slouží ke zvýšení mechanické odolnosti nebo jako další elektrická ochrana.

Pro velkoplošné elektrické vytápění se nejčastěji používají vodiče s jedním nebo dvěma jádry s dvojitým izolačním obalem, případně s ochranným pletením. Ukládají se do betonové mazaniny, nebo přímo do lepidla pod dlažbu. Pro podlahové vytápění se používají topné kabely s výkonem 10 až 20 W/m. Kabely vytvářejí okruhy, které mají na koncích studené vodiče. Zahřívají se na maximální teplotu jádra 80 °C. Celková tloušťka kabelů se pohybuje v rozmezí 4,5 až 8,5 mm. Požadovaný měrný výkon otopné plochy je závislý na měrném výkonu topného kabelu a na vzdálenosti jednotlivých kabelů.

Elektrická topná rohož je tvořena nosným tkanivem, ke kterému je přichycen topný kabel v podobě meandru s maximálním průměrem 3 mm. Tloušťka rohože se pohybuje v rozmezí 2,5 až 3,5 mm. Topné rohože se dodávají o standardní šířce 0,5 m a v délkách od 1 do 20 m s měrným tepelným výkonem od 100 do 160 W/m². Jejich aplikace spočívá především v oblasti renovací podlah pro vytvoření hlavní či doplňkové otopné plochy. Topné rohože se kladou ve formě pásů vedle sebe tak, aby se nepřekrývaly.

Elektrická topná fólie se skládá ze dvou laminovaných polyesterových fólií, mezi nimiž je vrstva homogenizovaného grafitu. Napájecí vodiče jsou po stranách fólie. Aktivní šířka topné fólie je 0,5 m a pasivní pásy po okrajích jsou široké 0,05 m. Topné fólie se vyrábí s měrným tepelným výkonem od 150 do 200 W/m² pro instalaci do betonu a od 60 do 80 W/m² pro instalaci do dřevěných nebo laminátových podlah. Celková tloušťka elektrické topné fólie je cca 0,4 mm. Topné fólie se kladou ve formě pásů vedle sebe tak, aby se nepřekrývaly.

8.8 Montáž a zkoušky elektrické podlahové otopné plochy

Montáž elektrické podlahové otopné plochy můžeme rozdělit do následujících etap:

- vytvoření podlahové otopné plochy,
- montážní práce,
- zkoušky podlahové otopné plochy.

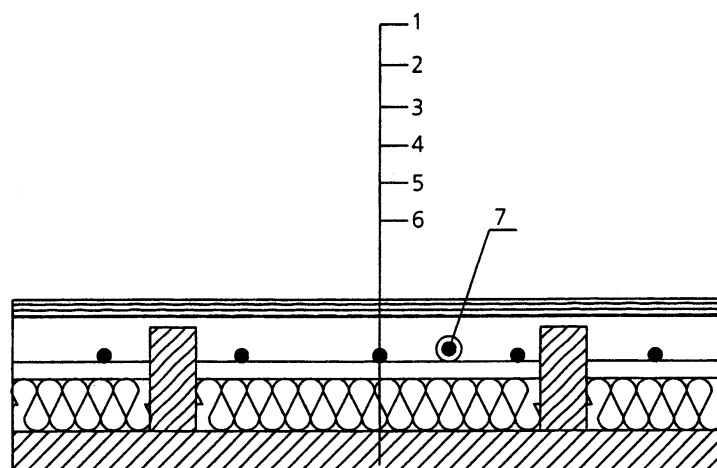
Z hlediska provedení lze elektrickou **podlahovou otopnou plochu realizovat** třemi základními způsoby:

- umístění do betonové mazaniny,
- umístění přímo pod podlahovou krytinu,
- umístění do dřevěných trámových podlah.

Při umístění do betonové mazaniny se topné kabely zalévají do vrstvy betonu. Ta tvoří dvě části. První je vyrovnávací a tvoří 1/3 až 1/2 celkové tloušťky betonové desky v závislosti na požadovaném stupni akumulace. Druhá je krycí, kterou se zalijí topné kabely. Topné kabely musejí být dobře obklopeny betonovou mazaninou (ne izolací) aby nedocházelo k jejich přehřívání.

Montáž přímo pod podlahovou krytinu se používá u přímotopného režimu vytápění. Topné rohože jsou kladeny přímo na tepelně izolační vrstvu a zalijí se krycí vrstvou nivelační hmoty či tmelu (lepidla) a položí se nášlapná vrstva. Tou je nejčastěji dlažba. Toto provedení poskytuje maximální možnou dynamičnost podlahové otopné plochy.

Rovněž u dřevěných trámových podlah se topné prvky kladou přímo na tepelnou izolaci. Mezi vlastní otopnou plochou a spodní plochou dřevěné podlahy musí být vytvořena vzduchová mezera min. 25 mm (obr. 52).



*Obr. 52 Podlahové vytápění s elektrickými topnými kabely v dřevěné trámové podlaze
1 – podlahová krytina, 2 – vzduchová mezera, 3 – topný kabel, 4 – drátěné pletivo, 5 – tepelná izolace, 6 – nosná dřevěná konstrukce, 7- snímač teploty*

Podlahová otopná plocha se klade až po dokončení omítek a tepelných izolací. Jsou rovněž instalována veškerá elektrická vedení a přípojky systému vytápění. Napájecí vodiče jsou dimenzovány podle navrženého výkonu otopných ploch. Příkladně se můžeme následujícího:

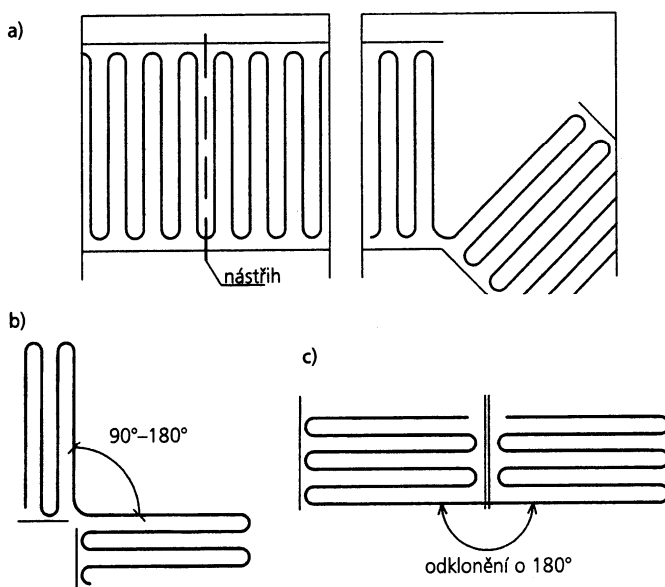
- přívod pro vytápění prostorů menších jak 10 m², měděný vodič 3 x 1,5 mm²,
- přívod pro vytápění prostorů větších jak 10 m², měděný vodič 3 x 2,5 mm²,
- přívod pro vytápění intenzivních okrajových zón a jiné doplňkové zdroje tepla s menším výkonem jak 2 kW, měděný vodič 3 x 1,5 mm²,
- při použití centrálních spínacích hodin instalovat ke každému termostatu měděný vodič 1 x 1,5 mm².

V místech, kde budou regulátory se osadí instalační krabice. Termostaty s prostorovými snímači se umisťují do míst, kde snímač neovlivňují nežádoucí vlivy (přímé oslunění, vnitřní zdroje tepla, proděnění vzduchu apod.). Aktivní prvky otopné plochy se připojují pevně přes regulátor, pohyblivý přívod není povolen. Od termostatu směrem k podlaze se vedou dvě ohebné elektroinstalační trubky pro připojení studené části topného kabelu a snímače teploty podlahy.

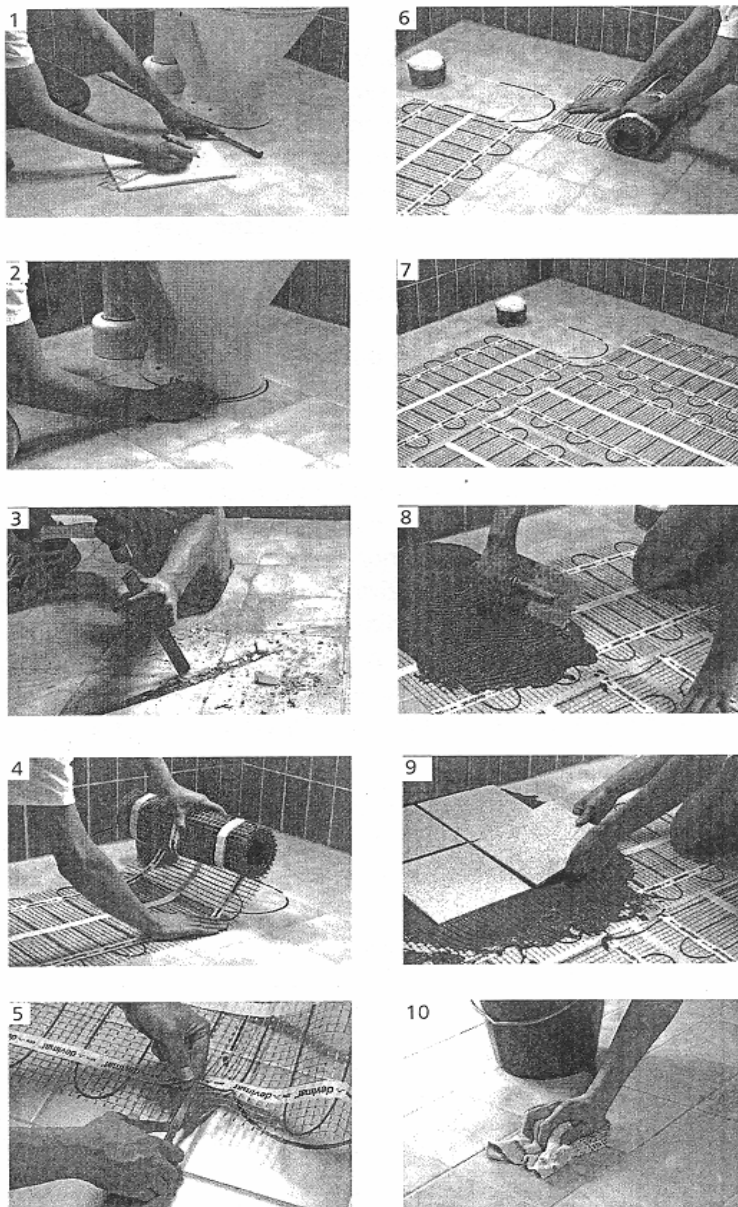
Při **montáži do betonu** musí být betonová směs dokonale zhutněná, bez ostrých úlomků a povrch hladký. Před kladením prvků otopné plochy se betonová vrstva natírá penetračním nátěrem. Aby byl zajištěn požadovaný rozestup kabelů a nedošlo k jejich překrytí, fixují se k podkladu. K tomu se používají instalační pásy, které se kotví do betonové desky. Další možností je uchycení na ocelovou síť. Rovněž lze k podkladu topné kabely uchytit lepicí páskou. Vzdálenost topných kabelů od stěn a zařizovacích předmětů je min. 50 až 100 mm. Při pokládce se dbá na to, aby se kabely nepoškodily pracovními nástroji apod. Aktivní části kabelů se nesmějí křížovat, dotýkat se, volně procházet vzduchem, dotýkat se vodovodního potrubí a zařizovacích předmětů. U kabelů lze zkracovat pouze jejich studené konce. Spojka studeného konce a topného kabelu nesmí být instalována v ohybu. Kabely nepřecházejí přes dilatační spáru. Pokud přes dilatační spáry přecházejí studené konce, musejí být volně uloženy ve dvou ochranných soustředných trubkách. Podlahový snímač teploty se spolu s vodičem umístí v ochranné elektroinstalační trubce mezi dva topné kabely. Konec trubky se utěsní, aby se zabránilo vniknutí zalévací směsi.

Topné kabely se instalují při teplotách vyšších než 5 °C. Po upevnění kabelů se změří odpor vodiče a ověří správná funkce. Poté se nanese krycí vrstva betonové mazaniny, která by měla prvky dokonale obalit. Po ukončení betonáže se opět změří odpor topných okruhů. Podlahová krytina se klade až po dostatečném vyztužení betonové směsi (28 až 30 dní). Po ukončení všech předchozích prací se osadí termostaty.

Při **montáži přímo pod podlahovou krytinou** se minimalizuje výsledná tloušťka otopné podlahové plochy. Proto jsou používány topné rohože a topné fólie. Podklad musí být dokonale čistý a hladký. Poté se ošetří penetračním nátěrem. V podlaze se vyhloubí drážka k uložení ochranné trubky s podlahovým snímačem teploty. Topné rohože v podobě pásů se pokládají jednotlivě a paralelně uložené pásy se nesmějí překrývat. Při požadavku na změnu směru pásů se u rohože nastříhne nosné tkanivo až k vodiči a pás se dle potřeby odkloní v úhlu až do 180 ° (obr. 53). Topná fólie se zakrývá parotěsnou zábranou, která se vytáhne dostatečně vysoko na stěnu a připevní. Na celou plochu se nanese nivelační hmota či lepicí tmel tak, aby topné rohože či fólie byly rovnoměrně překryty a nikde nevznikaly vzduchové bubliny. Znovu se přeměří příkon topných prvků a může se klást podlahová krytina (obr. 53).



Obr. 53 Změna směru při kladení topné rohože



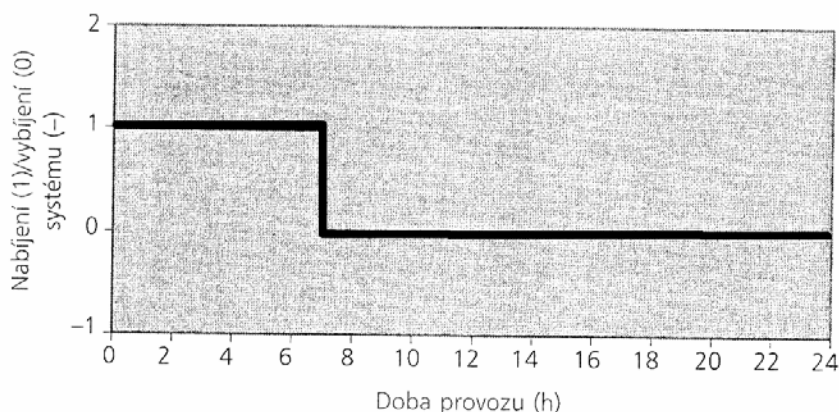
Obr. 54 Pracovní postup při instalaci topné rohože pod podlahovou krytinu

1 – vyměření, 2 – zakreslení zařizovacích předmětů, 3 – vysekání drážky pro snímač, 4 až 7 - kladení topné rohože, 8 – nanesení nivelační hmoty, 9 – kladení podlahové krytiny, 10 – vyspárování dlažby

8.9 Provoz elektrického podlahového vytápění

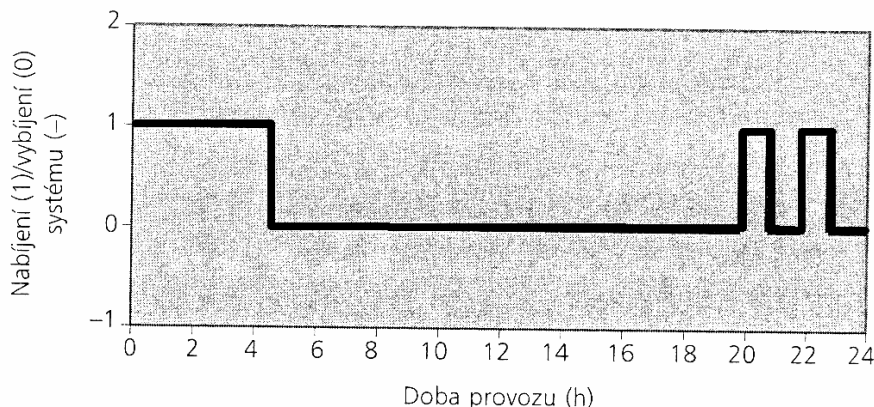
Provoz elektrického podlahového vytápění závisí na pracovním režimu otopné plochy, energetické náročnosti a na objektu jako takovém. Jak již bylo uvedeno dříve rozeznáváme pracovní režim plně akumulční, poloakumulční a přímotopný.

U **plně akumulčního režimu** je pracovní cyklus rozdělen do dvou fází. V první fázi (době nabíjení) probíhá souvislý odběr elektrické energie. K tomu dochází v době sníženého zatížení sítě, nejčastěji v noci po dobu 8 až 10 hodin (tzv. nízký tarif). Ve druhé fázi (době vybíjení) nedochází k odběru elektrické energie a systém je blokován (obr. 55). V této době dochází k samovolnému vybíjení naakumulované tepelné energie do vytápěného prostoru. Omezená doba nabíjení má za následek zvýšený potřebný instalovaný výkon. Akumulční elektrické podlahové vytápění není schopno pružně reagovat na náhlé změny provozních podmínek či požadavků.



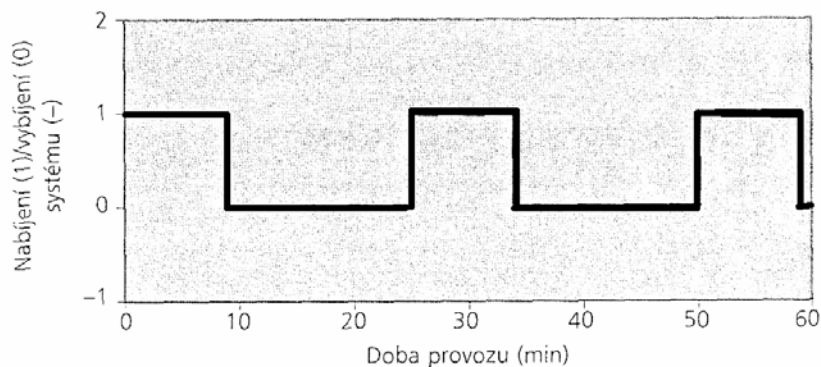
Obr. 55 Pracovní cyklus plně akumulčního režimu

Poloakumulční režim je charakterizován rozloženou dobou nabíjení. Protože je celková etapa nabíjení rozdělena, vykazuje celý cyklus několik dob nabíjení a vybíjení (obr. 56). Etapy nabíjení jsou rozloženy do několika časových pásem v průběhu dne. Hlavní odběr elektrické energie probíhá v noci a poté i přes den, především v odpoledních hodinách. Potřebný instalovaný výkon se snižuje vzhledem k možnosti dobíjení.



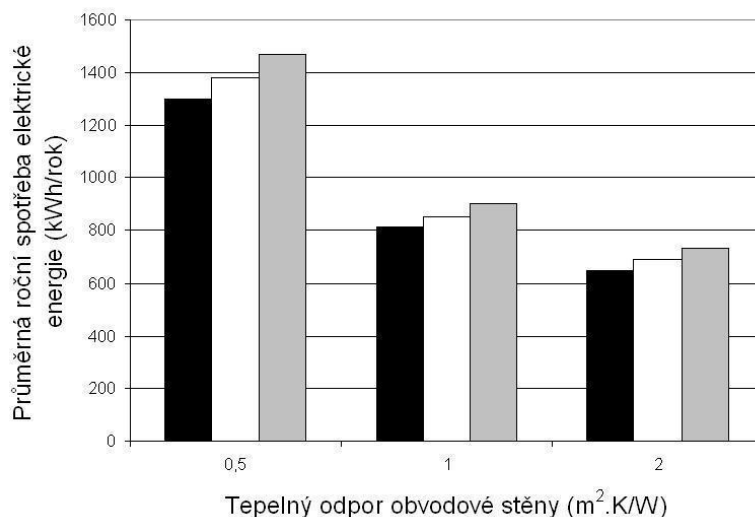
Obr. 56 Pracovní cyklus poloakumulčního režimu

U **přímotopného režimu** odebírá systém elektrickou energii ze sítě podle potřeby během celého provozu s výjimkou doby blokace, což představuje min. 2 hodiny denně (obr. 57). Systém je charakterizován minimální tloušťkou otopné plochy, neboť odpadá požadavek na akumulaci tepla. Instalovaný výkon je téměř o polovinu menší než u plně akumulčního systému. Z toho plyne i menší dimenzování elektrické přípojky. Rovněž můžeme zmínit i nižší investiční náklady a menší statické zatížení stropních konstrukcí.



Obr. 57 Pracovní cyklus plně přímotopného režimu

Důležitým parametrem, který ovlivňuje volbu podlahové otopné plochy a pracovního režimu je energetická náročnost. Na obr. 58 jsou znázorněny průměrné roční spotřeby elektrické energie jednotlivých typů (režimů) elektrického podlahového vytápění vztažené na 1 m² podlahové plochy objektu. Vše je rozděleno do tří časových období, kdy do r. 1984 byly uvažovány tepelné odpory obvodových stěn stavebních konstrukcí cca $R = 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, v období 1984 až 1992 byly uvažovány tepelné odpory obvodových stěn stavebních konstrukcí cca $R = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ a po r. 1992 $R = 2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.



Obr. 58 Průměrná roční spotřeba elektrické energie
černě – přímotopný režim; bíle – poloakumulační režim; šedě – akumulaciční režim

Rozdíl ve spotřebě elektrické energie mezi přímotopným a plně akumulacičním režimem je cca 10 % ve prospěch přímotopného režimu. Při porovnání poloakumulačního a plně akumulacičního je to cca 5 % ve prospěch poloakumulačního režimu. Tyto rozdíly vyplývají především z různé schopnosti jednotlivých režimů reagovat na regulační zásah.

9. Stěnové vytápění

U stěnového vytápění jde o uložení otopného hadu na stěnu pod omítku. Na rozdíl od podlahového vytápění má stěnové vytápění svá specifika, ale i mnoho společného. Teplotní spád na okruhu, tedy i vychlazení zpátečky může být podstatně větší než u podlahové otopné plochy.

Podle způsobu aplikace můžeme stěnové otopné plochy rozdělit na:

- mokré systémy,
- suché systémy.

Mokré systémy jsou vhodné pro zděné stavby a rekonstrukce (obr. 59). Otopný had se upevňuje šroubovacími přichytkami do hmoždinek, či se využívá zatloukacích spon. Rovněž tak je obvyklé využití hřebenových lišt především u nepravidelných či jinak specifických ploch. Po upevnění otopného hadu a omítací sítě přijde do kontaktu s otopným hadem přímo mokrá omítká.

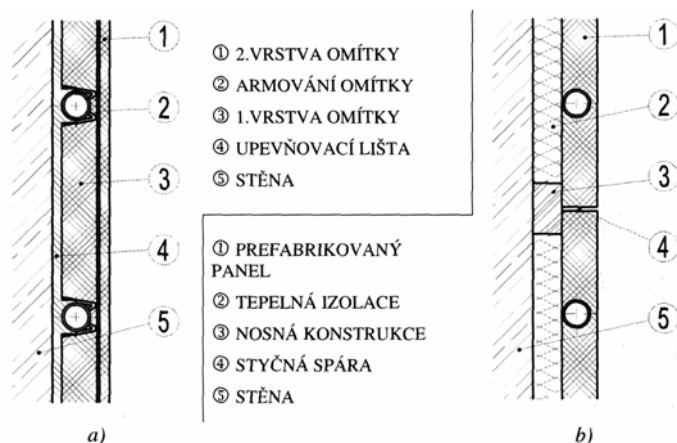
Suché systémy jsou vhodné pro nízkoenergetické a montované domy, podkroví a rovněž pro rekonstrukce (obr. 59). Výrazným zástupcem suchých systémů je již hotový otopný had z trubek 6 x 1 mm uložený v sádrovláknitých deskách. Tyto desky s otopným hadem se

montují na sádkartonové stěny, případně na pomocné konstrukce na zděných stěnách. K dokončení povrchové úpravy se využívá vrstva stěrky či omítky.

9.1 Provedení stěnové otopné plochy

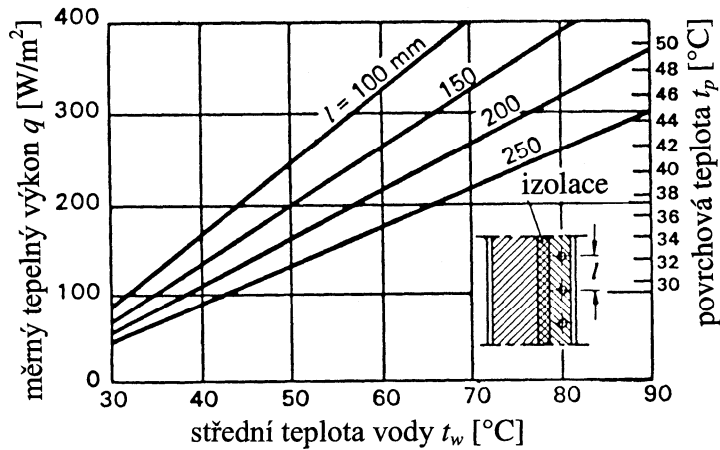
U klasické stěnové otopné plochy je na stěnu nejdříve upevněna tepelná izolace o tloušťce 20 až 80 mm. Dostatečnou tloušťku tepelné izolace vyžadují především zdi obvodového pláště objektu. Na tepelnou izolaci jsou upevněny trubky, které jsou zakryty omítkou. Trubky se používají plastové s bariérou proti difúzi vzdušného kyslíku, měkké měděné povlakované trubky a výjimečně i vícevrstvé trubky. U stěnového vytápění se s výhodou používá také tzv. kapilárních rohoží. Dříve se trubky projektovaly o průměrech okolo 10 mm i více. Vhodnější je však použít trubky o malých průměrech např. 6 x 1 a 8 x 1 mm, aby výška omítky nemusela být velká. Zároveň se dosahuje poloměru oblouku 10 až 40 mm a rozteče trubek v otopném hadu 10 až 75 mm. Takto se vytváří předpoklad pro využití nízkých teplot přívodní vody a rovnoměrnější rozložení teplot na stěně. Rozteče mezi trubkami větších průměrů vycházejí obdobně jako u podlahového vytápění. Neméně důležité je řešení dilatací. Otopná plocha, a zejména ta, která tvoří pouze část stěny, by měla být oddělena od zbytku stěny stále pružnou dilatační spárou. Pouze tak zaručíme, že nedojde k pozdějšímu popraskání omítky stěny. K rychlému návrhu stěnového vytápění může posloužit diagram na obr. 60.

Kapilární rohože tvoří registr z tenkých polypropylenových trubiček (vnější průměr je cca 3,5 mm), do kterého je trubkami většího průměru přiváděna voda (resp. odváděna). Mezi kapilárami registru je malá rozteč, která umožňuje rovnoměrné rozložení teplot na vytvořené otopné ploše (obr. 61). Kapilární rohože se nejčastěji instalují pod omítkou. Tloušťka omítky je díky malým rozměrům kapilární rohože standardní (10 až 15 mm). Kapilární rohože se vyrábějí na zakázku v různých rozměrech a na stavbu se dodávají jako celek, připravený k montáži na stěnu.



Obr. 59 Konstrukce stěnové otopné plochy
a) mokrý způsob pokládky, b) suchý způsob pokládky

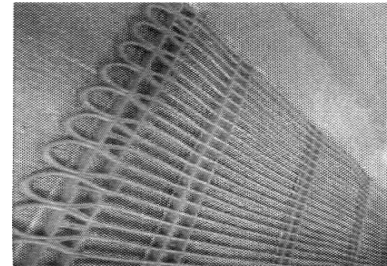
Specifická stěnová otopná plocha vzniká vytažením podlahového otopného hadu na stěnu. Toto stěnové vytápění je provozováno stejně jako vytápění podlahové, neboť je hydraulicky a tudíž i z hlediska dodávky tepla součástí podlahového otopného hadu. Takovéto „stěnové vytápění“ je pouze jakýmsi doplňkovým řešením nedostatečné velikosti podlahové otopné plochy z hlediska tepelného výkonu (např. malé koupelny).



Obr. 60 Měrný tepelný výkon stěnového vytápění

Diagram je konstruován pro potrubí DN 15, $t_i = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $t_e = -15\text{ }^\circ\text{C}$, izolace $\lambda/s = 0,75\text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ a tloušťku cihlové stěny 360 mm.

Obr. 61 Ukázka provedení kapilárních rohoží



9.2 Doporučení pro návrh

Obecně lze konstatovat, že by se měla stěnová otopná plocha montovat na vnitřní stranu např. ochlazené stěny (stěny obvodového pláště) a v případech nutnosti zajištění požadovaného tepelného výkonu i na vnitřní stěny (příčky). Nikdy však proti průteplivé konstrukci (oknu).

Tlaková ztráta jednotlivých okruhů (otopných hadů) by měla být přibližně stejná ($\pm 15\%$). Předjdeme tak budoucím potížím s hydraulickou nestabilitou potrubní sítě a zdlouhavému zareglovávání jednotlivých otopných hadů.

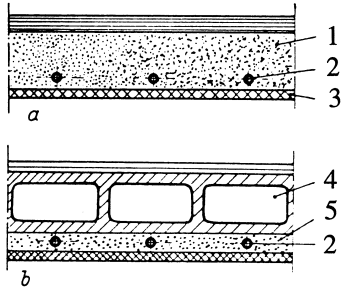
Minimální odstup horizontální trubky či spodního oblouku od konečné úrovně podlahy by měl být 100 mm. Otopný had by měl zasahovat do maximální výšky rovné horní hraně okna (u obytných prostor je ještě optimální max. 2,2 m). Minimální odstup oblouku či vertikálně jdoucí trubky od kolmé stěny je 150 mm.

Omítky použité k zaomítání musí snášet projektované teploty otopné plochy. Sádrovápenné a kaolínové omítky či hliněné směsi lze použít pouze do teploty $50\text{ }^\circ\text{C}$. Vápenocementové omítky dlouhodobě odolávají teplotám do $70\text{ }^\circ\text{C}$. Omítka je vždy vyztužena omítací sítí, která má přesah přes otopný had, případně přes nejbližší hranu nebo změnu tvaru min. 100 mm.

10. Stropní vytápění

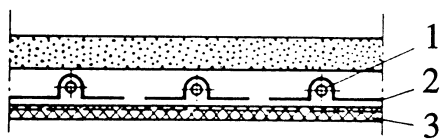
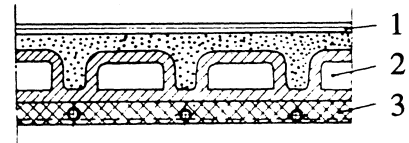
U stropního vytápění rozlišujeme následující provedení :

- otopná plocha s trubkami zalitými ve stropě
- otopná plocha tvořená lamelami
- otopná plocha vytvořená sálavými panely a pasy
- otopná plocha v dutém podhledu



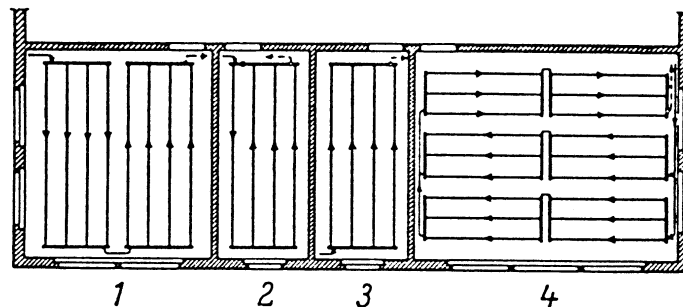
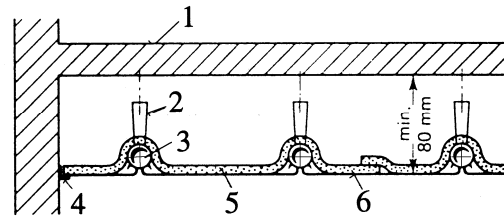
Obr. 62 Stropní otopná plocha s trubkami zalitými v betonu
 a) trubky zalité v nosném betonu stropu
 b) trubky zalité v betonu pod nosnou částí dutých cihel
 1 – beton, 2 – trubky, 3 – omítka, 4 – dutá cihla, 5 – otopná plocha

Obr. 63 Stropní otopná plocha s trubkami v omítce stropu
 1 – potěr, 2 – dutá cihla, 3 – omítka



Obr. 64 Stropní otopná plocha tvořená lamelami (Stramax)
 1 – trubka, 2 – Al – lamela, 3 – omítka

Obr. 65 Průřez Frengerovým otopným stropem
 1 – nosný strop, 2 – závěs, 3 – 1/2“ trubka, 4 – okrajový úchyt, 5 – tepelná izolace, 6 – Al – deska



Obr. 66 Různé uspořádání registru trubek u Frengerova otopného stropu
 1 – registry spojeny sériově s připojením od obvodové zdi, 2 – registr s jednostranným připojením, 3 – registr připojený diagonálně s přívodem od obvodové zdi, 4 – tři skupiny registrů z nichž dvě jsou napojeny paralelně.

Jednotlivá provedení stropní otopné plochy ukazují obr. 62 až 66. Světlé a tmavé plynové zářiče přímo nepatří do stropního vytápění s otopnou plochou napojenou na otopnou soustavu, ale do lokálních spotřebičů, resp. zdrojů tepla.

10.1 Trubky zalité ve stropě

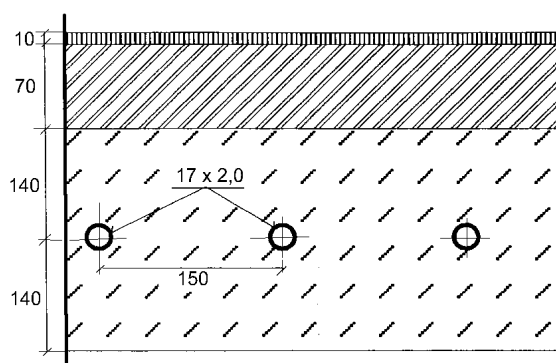
Stropní vytápění s trubkami zalitými ve stropě se vyznačuje tím, že trubky 3/8“, 1/2“ nebo 3/4“ jsou přímo součástí stropní konstrukce (dnes se jednoznačně používá již jen plastů, tj.

především PEXa – např. 17x2 mm). Mohou být uloženy přímo v betonu a pak plní i významnou roli vzhledem k nosnosti stropu, jako armovací železo či jen v omítce stropu.

Při kladení trubek přímo do betonu se jedná o starý způsob provedení (Crittall). V tomto případě musí být otopný had kladen současně s výstavbou stropu. Mezi bedněním a trubkami musí být před betonáží zajištěna distančními vzpěrami mezera cca 2 cm. Nároky kladené na preciznost provedení otopného hadu jsou velké, neboť při chybném vyrovnání a spádování dochází k neustálým provozním potížím s vypouštěním a odvzdušňováním.

Do této skupiny patří i tzv. systémy aktivace betonu. Rozšířeno je označení tepelně aktivní prvky stavební konstrukce – TABS (Thermo Active Building Systems). Princip spočívá ve využití akumulční schopnosti betonového jádra a to jak pro vytápění, tak pro letní vysokoteplotní chlazení. Trubky se pokládají ještě v průběhu hrubé stavby a přizpůsobují se tak požadavkům stavby. S určitou nadsázkou lze říci, že se jedná o novodobý Crittall s plným využitím moderních technologií. Pánové Richard Godfrey Crittall a Joseph Leslie Musgrave podali mnoho patentů v oblasti vytápění a chlazení budov, včetně systému stropního vytápění a chlazení se zalitými trubkami ve stropní konstrukci. Označení Crittall (pojmenováno po jednom z průkopníků), tak označuje systémy stropního vytápění se zalitými ocelovými trubkami ve stropě stavební konstrukce.

Pokud jsou trubky jen v omítce stropu je celé provedení jednodušší. Nejdříve se postaví strop, na který se zesponu upevní otopný had. Rabicové pletivo slouží k lepšímu uchycení vápeno-cementové malty. Celá vrstva od nosného stropu tak tvoří pouhých 5 až 6 cm. Montáž se ještě zjednoduší použitím povlakovaných měděných trubek či trubek plastových. Omítka dosahuje tloušťky vrstvy jen cca 30 mm.



Obr. 67 Znárodnění průřezu konstrukce systému aktivace betonu – strop BKT

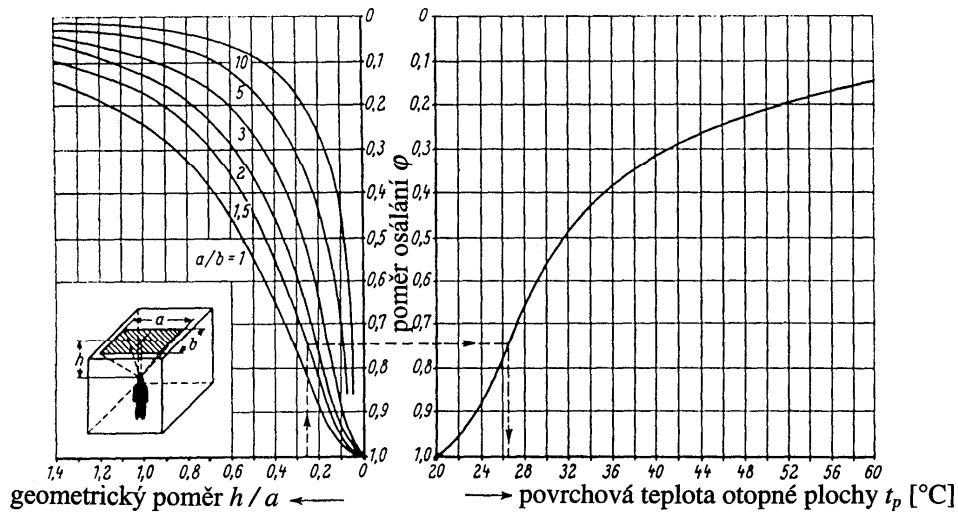
I u stropního vytápění je důležité ohlídat povrchovou teplotu otopné plochy, neboť vysoká teplota by způsobila nadměrné osálení temene hlavy a tak výraznou tepelnou nepohodu. Přípustnou povrchovou teplotu stropní otopné plochy pro různé výšky stropu a velikosti otopné plochy udává obr. 68. Jako striktní požadavek uvažujme maximální hodnotu měrného tepelného sálavého toku (intenzity sálání) 200 W/m² v oblasti temene hlavy.

Určující rovnice, uplatněná rovněž na obr. 68, tepelně-fyziologicky určující povrchovou teplotu stropu má tvar

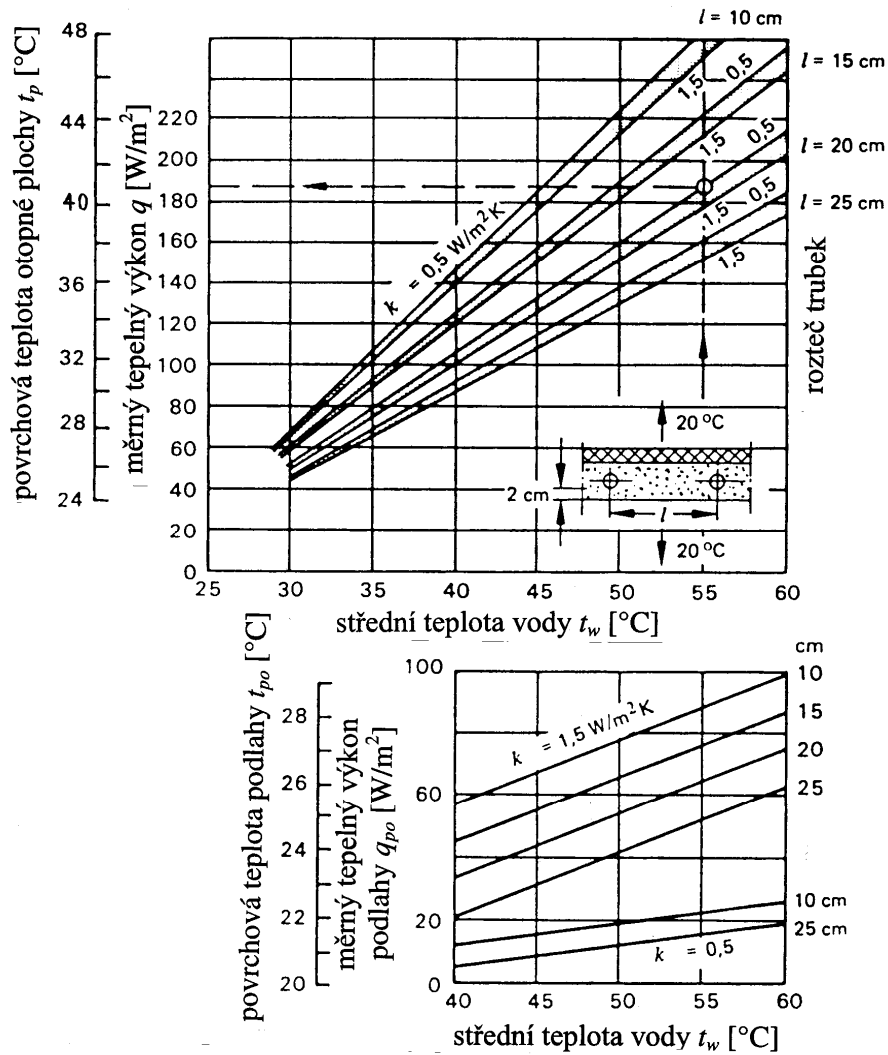
$$t_m = (2 - \varphi) \cdot \left(18 + \frac{2}{\varphi} \right), \quad [^{\circ}\text{C}]$$

kde φ je poměr osálení [-].

U stropního vytápění kde by byl nežádoucí příliš velký únik tepla směrem nahoru se využívá tepelná izolace obdobně jako u podlahového vytápění.



Obr. 68 Přípustná povrchová teplota stropu při teplotě vzduchu 20 °C podle Kollmara.



Obr. 69 Stropní vytápění s ocelovými trubkami DN 15 v betonu, 50 % pokrytím stropní plochy a teplotou vzduchu 20 °C

Pro praktické výpočty lze použít obr. 69, ze kterého určíme v závislosti na součiniteli prostupu tepla stropu U (v obr. značeno k) zároveň tepelný výkon stropu q a nad ním ležící podlahy q_{po} to vše pro strop s ½“ trubkami. Tepelný tok okrajové plochy je závislý na zapojení otopného hadu. Pro sériové napojení platí

$$Q_O = 65 \cdot (a + 0,6b) \quad [\text{W}]$$

a pro paralelní napojení

$$Q_O = 65 \cdot (a + 2b), \quad [\text{W}]$$

kde a je délka registru [m],
 b šířka registru [m].

Příklad

Místnost 5 x 6 x 3,1 m má tepelnou ztrátu $Q = 3840$ W. Součinitel prostupu tepla stropu $U = k = 0,5$ W/m².K. Ptáme se, jak velká musí být otopná plocha při střední teplotě vody 55 °C. Vyberme ½“ trubky s roztečí $l = 200$ mm. Měrný tepelný výkon stropu podle obr. 69 je $q = 186$ W/m². Požadovaná velikost otopné plochy je

$$S = \frac{Q}{q} = \frac{3840}{186} = 20,6 \text{ m}^2$$

Zvolíme tři registry se sedmi trubkami. Celková šířka registrů $b = 20 \times 0,2 = 4$ m a délka registru $a = 5$ m. Celková otopná plocha $S = 5 \times 4 = 20$ m². Tepelný tok sdílený okrajovou plochou $q_o = 65 \cdot (5 + 0,6 \cdot 4) = 481$ W. Celkový tepelný výkon $Q = 20 \times 186 + 481 = 4201$ W, což je dostačující.

Vliv na tepelný výkon má pokrytí stropu otopnou plochou, resp. velikost ploch, v nichž není otopný had. Měrný tepelný výkon lze obecně popsat

$$q = (\alpha_K + \alpha_S) \cdot \Delta t, \quad [\text{W/m}^2]$$

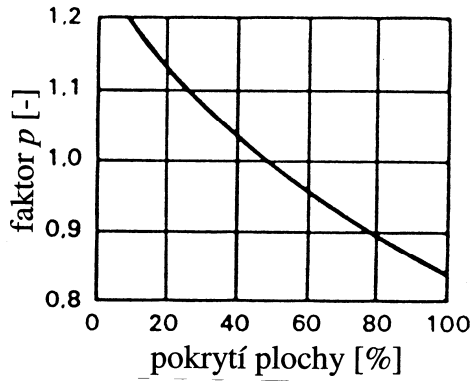
kde α_S součinitel přestupu tepla sáláním (při teplotě stropu 40 °C je 5,4 W/m².K),

$$\alpha_K = a \sqrt[4]{\Delta t}. \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$$

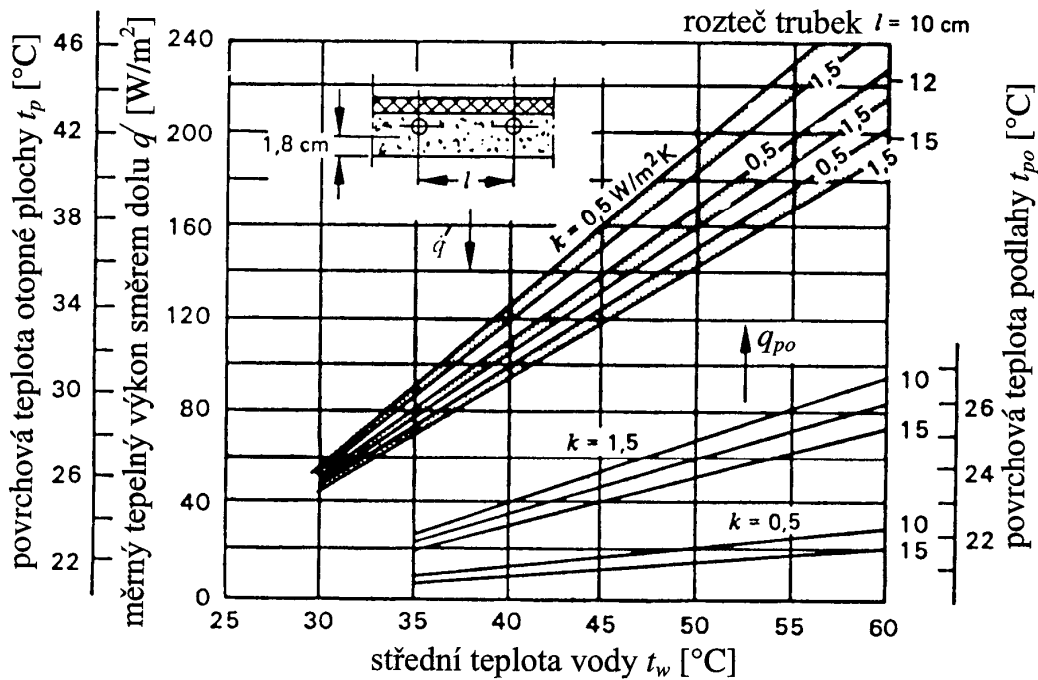
Faktor a kolísá mezi hodnotami 0,60 a 1,25 podle velikosti otopné plochy a intenzity proudění vzduchu ve vytápěné místnosti. Pro $\Delta t = 20$ K dostáváme hraniční hodnoty $\alpha_K = 1,25$ až 2,60 W/m².K.

Čím menší je podíl otopné plochy na celkové ploše stropu, tím větší musí být měrný tepelný výkon otopné plochy. Tuto skutečnost zohledňujeme korekčním faktorem p . Při 50% pokrytí stropu otopnou plochou $p = 1$ a pro ostatní možnosti lze faktor p odečíst z obr. 70.

Pro návrh stropního vytápění s měděnými trubkami v omítce platí obr. 71 a používá se stejným způsobem, jako obr. 69.



Obr. 70 Korekční faktor p pro zohlednění velikosti otopné plochy vzhledem k velikosti stropu.



Obr. 71 Stropní vytápění s měděnými povlakovanými trubkami (12 x 1 až 18 x 1 mm) v sádrové omítce a teplotou vzduchu 20 °C

10.2 Použití lamel

Lamely upevněné na trubkách umožňují rovnoměrnější rozptýlení tepelného toku a zvětšují přístupnou plochu trubek. Lamely rychleji odvádějí teplo z trubek pokud mají velký součinitel tepelné vodivosti, a tak se převážně vyrábí z hliníkového plechu. Způsob upevnění plechů na trubky a na strop, jejich velikost a spojení s omítkou je u rozličných konstrukcí různé. Nejznámější jsou dvě provedení. Prvním je tzv. Stramax-standard strop, jehož šířku zajišťují hliníkové plechy, které mají uprostřed prolis, ve kterém se posouvá uchycená trubka. Pod lamelami je sádrová omítka s nosičem omítky, a tak vzniká hladký strop.

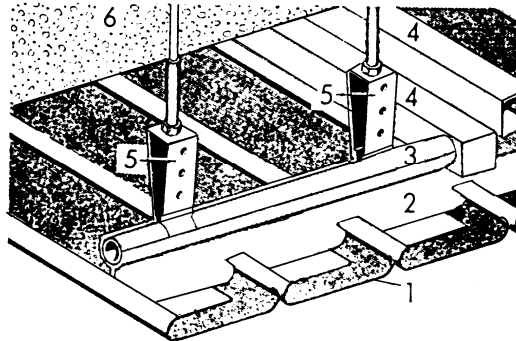
Druhým je Zent-Frengerův strop, kde jsou použity perforované či neperforované povrchově upravené hliníkové plechy o velikosti 625 x 625 mm, 0,75 mm tlusté, tvořící podhled. Trubky jsou zavěšeny pod stropem a desky jsou k nim připevněny ocelovou svorkou. Shora jsou desky tepelně a akusticky izolovány. Zhruba 1,5 mm široké spáry mezi deskami se využívají

k provětrání. Jedno z provedení ukazuje obr. 64 a zapojení trubkových registrů obr. 66. Teplota otopné vody se projektuje jako u teplovodních otopných soustav s otopnými tělesy. Přívodní teplota vody se u těchto stropů může pohybovat až okolo 70 °C a teplotní spád se volí 10 až 15 K. Alternativní řešení s hliníkovými lamelami (pásky) o šířce 85 či 100 mm ukazuje obr. 72. Tepelný výkon je zde však nižší než u klasického Frengerova stropu.

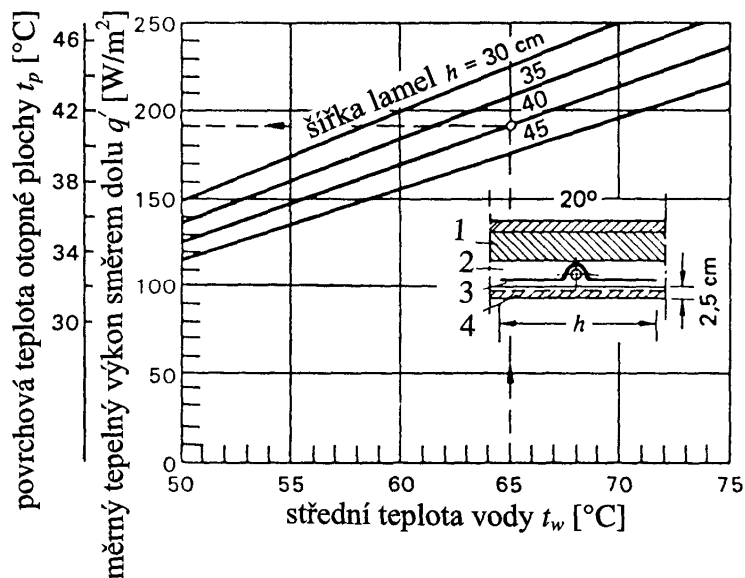
Pro návrh jsou vhodné diagramy na obr. 73 a 74. Při návrhu je potřebné odlišit přímý měrný tepelný tok hliníkové plochy q' a měrný tepelný tok, který dávají okrajové lamely q_o . Tepelný tok okraje q_o je důležitý i u prostředních lamel, pokud je mezi lamelami mezera stejně jako na okraji otopné plochy. Celkový výkon je pak dán

$$Q = S \cdot q' + \Sigma(L \cdot q_o), \quad [W]$$

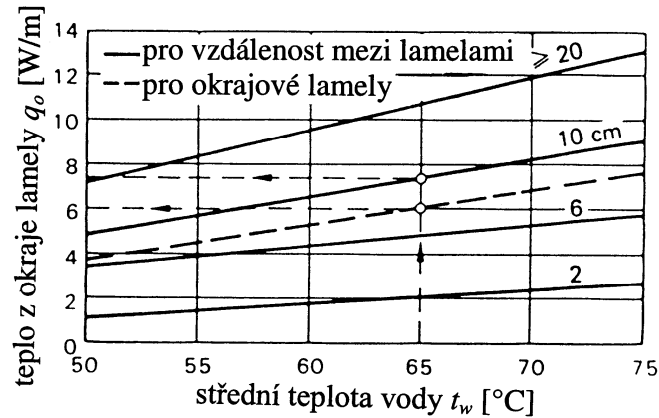
kde L je vnější délka stran lamel [m].



Obr. 72 Zent – Frengerův strop s pásovými lamelami
1 – pás, 2 – nosný profil, 3 – trubka, 4 – rozdělovač, 5 – závěs, 6 – nosný strop



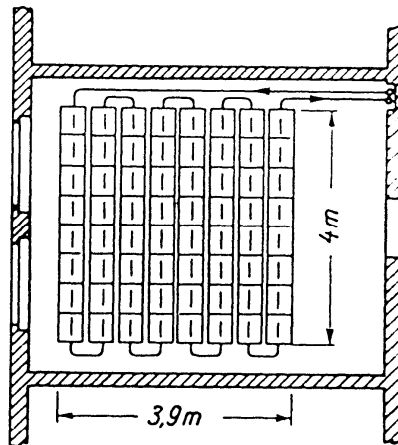
Obr. 73 Stropní vytápění s Al - lamelami – závislost povrchové teploty otopné plochy a měrného tepelného výkonu na střední teplotě vody pro různou šířku lamel, trubku DN 15, lamelu o tloušťce 1 mm a teplotu vzduchu 20 °C



Obr. 74 Tepelný tok okraje Al – lamely

Příklad

Místnost 5 x 6 x 3,1 m má tepelnou ztrátu $Q = 2660$ W. Navrhněme stropní vytápění s Al – lamelami 0,5 x 0,4 m a střední teplotou vody 65 °C s uspořádáním lamel podle obr. 75.



Obr. 75 Uspořádání Al – lamel u stropní otopné plochy

Měrný tepelný výkon podle diagramu na obr. 73 je $q' = 192$ W/m². Požadovaná velikost otopné plochy je

$$S = \frac{Q}{q} = \frac{2660}{192} = 13,9 \text{ m}^2$$

Zvolíme 8 Al – pasů o délce 4 m, 0,4 m široké, s 100 mm odstupem mezi lamelami. Celková otopná plocha $S = 8 \times 0,4 \times 4 = 12,8 \text{ m}^2$.

Celkový tepelný výkon

$$Q = S \cdot q' + \sum(L \cdot q_o) = 12,8 \cdot 192 + 7 \cdot 4 \cdot 7,2 + (2 \cdot 8 \cdot 0,4 + 2 \cdot 4) \cdot 6,0 = 2772 \text{ W, což je dostačující.}$$

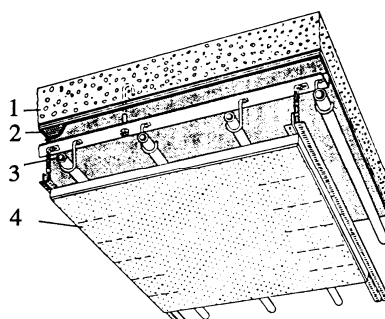
Nesmírně důležitá je správná montáž, neboť lamely musí být s trubkami pevně spojeny, aby bylo zaručeno dobré vedení tepla. Sádrová omítka musí k lamelám dobře přilnout a ani po topné zkoušce a zchlazení nesmí díky sražené vlhkosti odpouknout.

10.3 Použití sálavých desek a pasů

Sálavé desky, pasy a panely netvoří přímo stropní otopnou plochu a na strop jsou pouze volně zavěšeny jako na nosný prvek. Převážně sestávají z ocelového plechu, na který jsou třmeny upevněny trubky (někdy i přivařeny), a který je povětšinou shora tepelně izolován. Na strop se mohou zavěšovat jednotlivě či v souvislých pasech. Využití nacházejí především u průmyslových staveb.

10.4 Stropní vytápění s dutým podhledem

U otopné plochy s dutým podhledem prochází trubky v prostoru nad podhledem a pod nosným stropem (obr. 4.74). Spodní část nosného stropu je izolována. Teplo se z trubek sdílí sáláním a konvekcí. Teplonosnou látkou je teplá voda např. 75 / 60 °C. Podhled je realizován jako plný či perforovaný s akustickou izolací. Výhodou je možnost dodatečných změn.



Obr. 76 Stropní vytápění s dutým podhledem a akustickou izolací

1 – betonový strop, 2 – tepelná izolace s hliníkovou fólií, 3 – trubka, 4 – akustická izolace v podobě desek 60 x 60 cm.

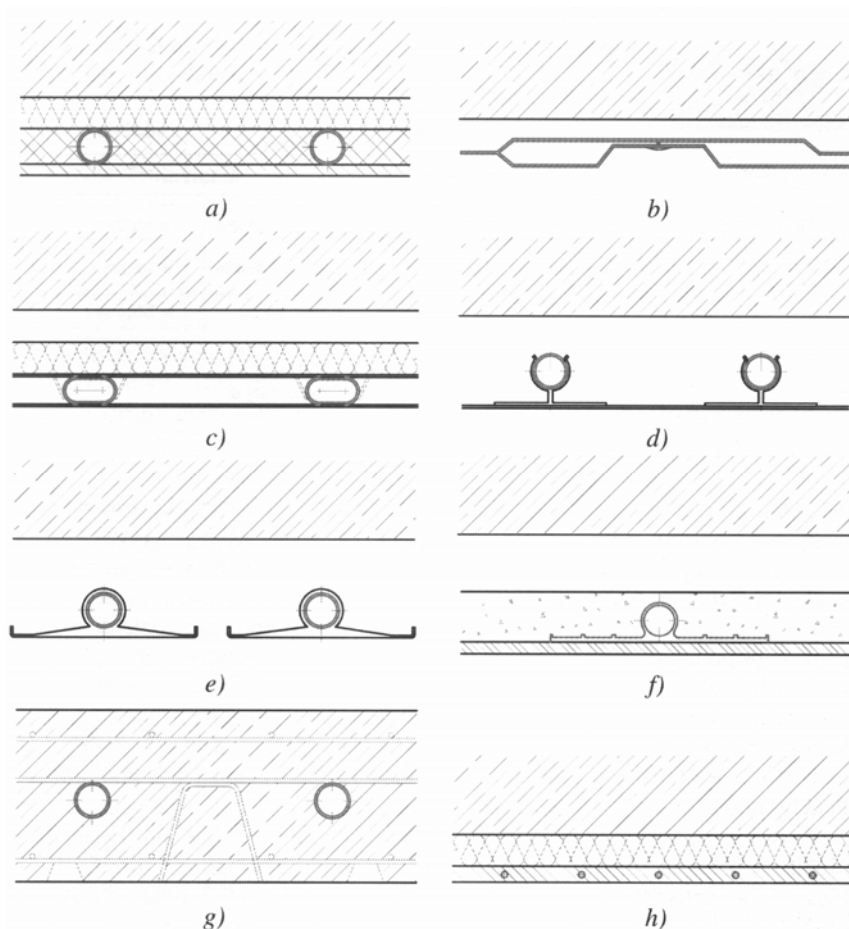
11. Stropní velkoplošné chlazení

Stropní chlazení, resp. stropní chladicí plochy vychází ze stejných konstrukčních principů jako stropní vytápění. U stropního chlazení však musíme dbát na to, aby povrchová teplota chladicí plochy byla vyšší než je teplota rosného bodu vzduchu proudícího okolo chladicí plochy. Běžně uvažujeme, že musí být vyšší min. o 1 K. Teplota chladicí vody přiváděné do stropu se volí tak, aby nedocházelo k orosování povrchu. V našich podmínkách se teplota přivodní vody většinou volí ≥ 16 °C, avšak max. do 20 °C. Teplotní spád (ohřátí) tak bývá poměrně malý v rozmezí 2 až 4 K.

Z hlediska regulace je stav kondenzace vlhkosti ošetřen regulátorem, který dostává informaci od čidla teploty rosného bodu. To je složeno z elektrického elementu, jehož elektrický odpor závisí na relativní vlhkosti vzduchu. Jestliže dojde ke zvýšení relativní vlhkosti nad stanovenou mez (obvykle 80 až 85 %) vyše regulátor signál akčnímu členu (záleží na tom zda se jedná o kvalitativní či kvantitativní regulaci) a dojde ke změně regulované veličiny.

Přesto, že můžeme podle aktivní chladicí plochy rozdělit sálavé chladicí systémy na chladicí stropy, stěny, podlahy a celoplošné systémy, stále jsou nejrozšířenějším typem sálavých chladicích systémů chladicí stropy. Na obr. 77 jsou schématicky znázorněny řezy některými konstrukcemi chladicích stropů. Obr. 77a) znázorňuje masivní chladicí strop s potrubím

umístěným pod betonovou stropní deskou, opatřený tepelnou izolací na horní straně trubního rozvodu. Na obr. 77b) je znázorněno použití modulové klimadesky, umístěné pod stropní konstrukcí. Obr. 77c) znázorňuje jedno z častých řešení, kterým jsou chladicí panely v podhledové konstrukci opatřené na horní straně tepelnou izolací. Podobným řešením je využití lamel (obr. 77d)) upevněných k trubnímu rozvodu, který je připevněn ke stropní desce. Na obr. 77e) je chladicí strop v podobě protlačovaných profilů s nalisovanými měděnými trubkami v otevřeném provedení. Obr. 77f) znázorňuje sendvičový chladicí panel, který je tvořen hliníkovým profilem, zalitým v desce z polyuretanové pěny. Aktivní plochou je tenká sádkartonová deska. Konstrukci s tzv. aktivací betonu ukazuje obr. 77g). Poslední schéma (obr. 77h) uvádí příklad využití kapilárních rohoží. Kapilární rohože mohou být umístěny jak pod omítkou na stropní desce, nebo přímo na sádkartonové konstrukci.



Obr. 77 Schémata řezů základních konstrukcí chladicích stropů

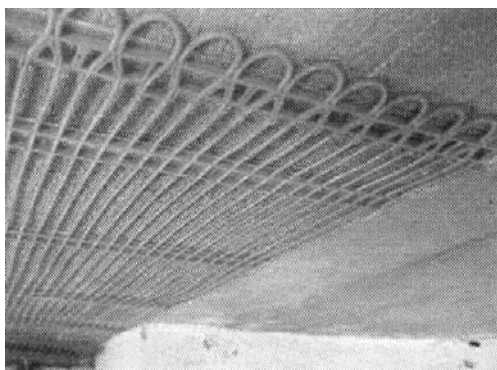
a) masivní chladicí strop s potrubím pod betonovou stropní deskou, b) modulová klimadeska, c) chladicí panel v podhledové konstrukci, d) lamelový uzavřený chladicí strop, e) lamelový uzavřený chladicí strop, f) sendvičový chladicí panel, g) aktivace betonu (princip Crittall), h) chladicí strop s kapilárními rohožemi

Pohled na realizaci stropního chlazení v prostorách rodinného domu nám ukazuje obr. 78. Je zde proveden mokrý způsob pokládky v podobě meandru s potrubím PEXa 40 x 1,5 mm, které je fixováno do vodících lišt. Projektovaná rozteč je 100 mm. Po provedení tlakových zkoušek (viz podlahové vytápění) se strop omítne vápenosádrovou omítkou. Tomu ještě předchází pojící nátěr s křemenným pískem. První vrstva představovala 12 až 14 mm a po dokonalém zaschnutí druhá nanesená vrstva 10 mm. Takovýto chladicí strop pracuje s teplotními parametry 15/18 °C.

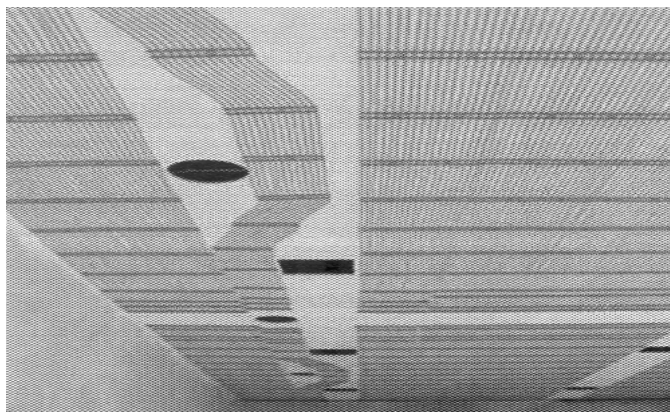


Obr. 78 Realizace mokrého způsobu stropního chlazení

Kapilární rohože se umísťují přímo na stropní desku (obr. 79) nebo na sádkokarton. U instalace přímo na stropní desku se přívodní a vratné potrubí klade do předem připravených drážek ve stěně. V případě umístění kapilární rohože na sádkokarton (obr. 80) se rozvodné a sběrné potrubí umísťuje nad sádkokarton (většinou do tepelné izolace). Kapilární rohože se připevňují na stropní desku či sádkokarton lepicí páskou nebo talířovými terčíky. Tloušťka omítky se pohybuje do 10 mm.



Obr. 79 Kapilární rohože na stropní desce



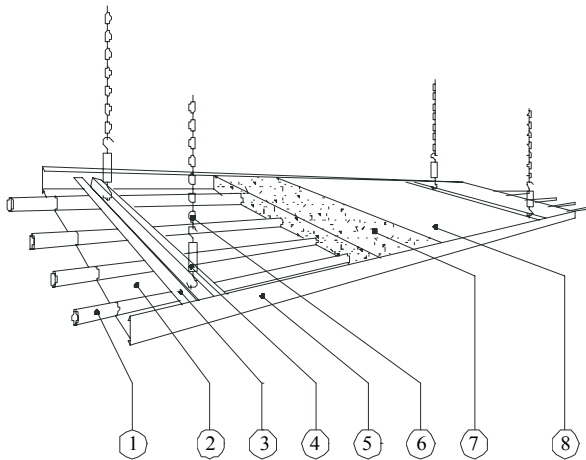
Obr. 80 Kapilární rohože na sádkokartonové desce

12. Vytápění zavěšenými sálavými panely

12.1 Charakteristika zavěšených sálavých panelů

Sálavými panely (obr. 81) nazýváme zařízení, které otopnou plochu vytváří z rozvodných trubek (1), okolo kterých jsou „našity“ kovové lamely (2). Teplo je předáváno do okolí převážně sáláním. Sálavé panely se nejčastěji zavěšují pod strop vytápěného objektu. Šířka jedné lamely bývá 150 mm. Celková šířka otopné plochy závisí na počtu lamel od 300 (2 lamely) až po 1200 mm (8 lamel). Panely jsou na stavbu dodávány v 6ti metrových modulech, které se sestavují do otopné plochy téměř libovolné délky (závisí na teplotním spádu a způsobu zapojení). Lamely jsou šroubovány na příčníky (3), na kterých jsou pro zavěšení připraveny stavěcí šrouby (4). Panely se zavěšují pomocí uzlových řetízků do střešní konstrukce. Vrchní část lamel je zakryta tepelnou izolací (7) s reflexním povrchem (8) pro snížení tepelných ztrát konvekcí a sáláním směrem ke stropu. Ze strany je tepelná izolace zakryta bočnicí (5). Zapojení těchto pásů do soustavy se provádí pomocí připojovacích registrů, které jsou umístěny na koncích pásů. Jednotlivé moduly sálavých panelů (nejčastěji 6 m) jsou spojovány buď lisovacími fitinkami (do PN 16), nebo svařováním. Místo spojení je

posléze zespoda překryto krycím plechem a shora je opatřeno izolací. Panely tak tvoří kompaktní sálavý pás.



Obr. 81 Detail sálavého panelu

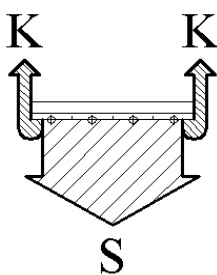
1 – trubkový registr, 2 – kovová lamela, 3 – nosný příčník, 4 – stavěcí závěsný šroub, 5 – bočnice, 6 – uzlový řetízek, 7 – izolace, 8 – hliníková reflexní folie

Výhodou sálavých panelů je možnost pracovat s průtokem jednotlivými částmi panelů, tedy volit, zda budou jednotlivé lamely zapojeny sériově (had) nebo paralelně (registr). Volba přímo ovlivňuje teplotu sálavého panelu. Závisí na teplotním spádu, tlakových podmínkách v síti a rozměrech objektu, resp. počtu pasů.

Závěsné sálavé panely se používají pro vytápění halových objektů (průmyslové haly, sportovní haly, skladové prostory, tržnice, apod.). Proti teplotovzdušnému vytápění pomocí nástěnných teplotovzdušných souprav jsou provozní náklady nižší o cca 30 %. Sálavé panely je možné navrhovat do jakéhokoliv prostředí halových objektů s výškou jejich zavěšení v rozmezí 4 až 20 m. Otopná soustava nevyžaduje téměř žádnou údržbu, pouze občasnou kontrolu armatur na vstupu.

12.2 Sálavá účinnost

Podle definice je sálavá účinnost u sálavých panelů dána podílem tepelného výkonu sdíleného do okolí sáláním a celého tepelného výkonu předaného do okolí (obr. 82).



$$\eta_s = \frac{Q_s}{Q_s + Q_K} \quad (12-1)$$

Obr. 82 Rozdělení celkového výkonu sálavého panelu na sálavou a konvekční složku

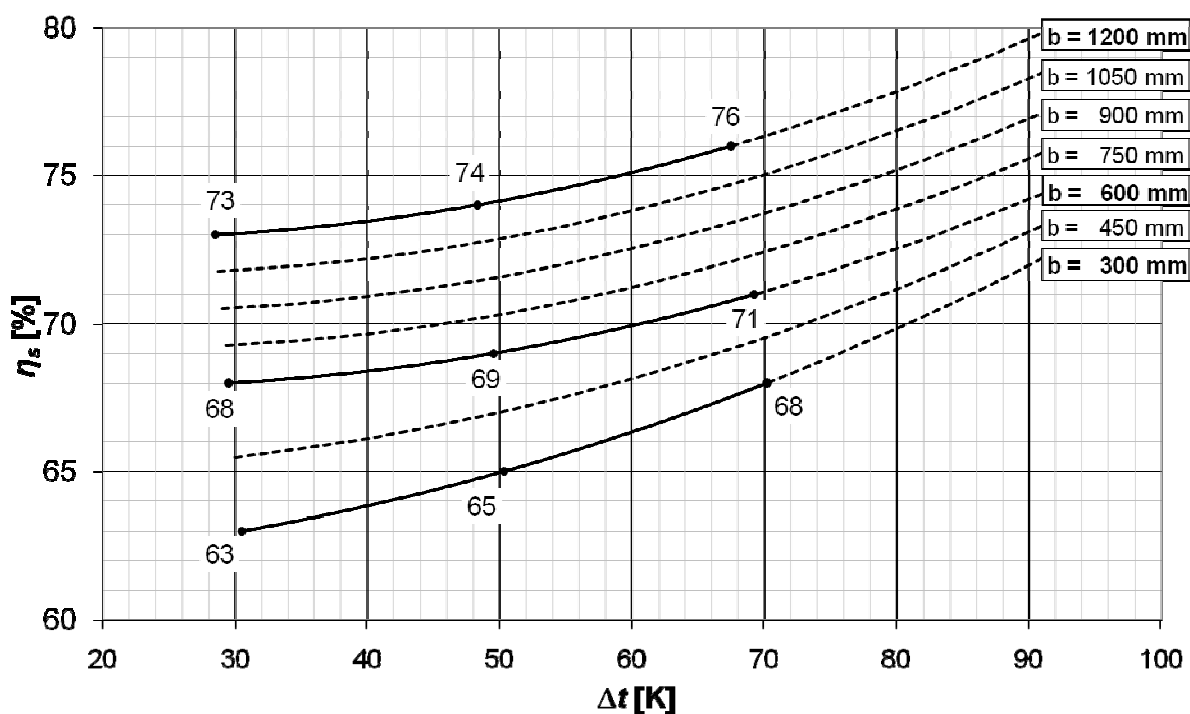
Jak ukazuje obr. 83, sálavá účinnost je závislá především na dvou parametrech: pracovním teplotním rozdílu Δt a šířce sálavého panelu b . Pracovní teplotní rozdíl se vypočte:

$$\Delta t = \frac{t_1 + t_2}{2} - t_i, \quad (12-2)$$

kde t_1 je teplota přívodu do sálavých panelů, t_2 je teplota zpátečky a t_i je vnitřní návrhová teplota. První zlomek ve vzorci charakterizuje střední teplotu teplotonosné látky v sálavém panelu. Z obrázku jsou důležité dva závěry:

- sálavá účinnost roste se zvyšujícím se pracovním teplotním rozdílem;
- sálavá účinnost roste se zvyšující se šířkou sálavých panelů.

Jinými slovy je výhodnější (pokud je to možné) volit vyšší střední teplotu teplotnosné látky a zároveň volit raději menší množství širších panelů.



Obr. 83 Závislost sálavé účinnosti na pracovním teplotním rozdílu a šířce sálavého panelu

12.3 Metodika výpočtu a návrhu sálavých panelů

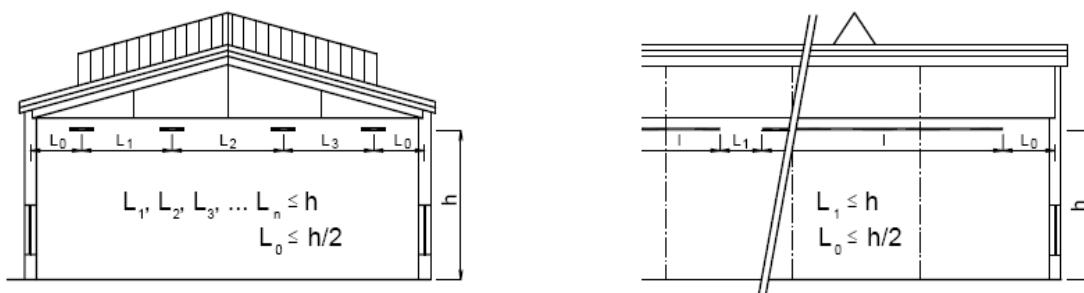
Při navrhování se postupuje následovně:

- zjistí se maximální možné množství informací o vytápěném objektu (rozměry, konstrukce, skladby stěn, možnosti zavěšení, zdroj tepla, teplotní spád, směnnost, tepelné zisky od technologie, atd.);
- podle rozměrů haly (šířky jednotlivých lodí) se stanoví počet pásů (kap. 12.3.1);
- halový prostor se půdorysně rozdělí na sekce (alespoň s jedním pásem) stejným způsobem ochlazované (kap. 12.3.2);
- pro každou sekci se stanoví bilancí vytápěného prostoru tepelná ztráta (kap. 12.3.3);
- vypočtená tepelná ztráta se koriguje na výšku zavěšení, vnitřní teplotu, natočení sálavých panelů (kap. 12.3.4);
- na základě katalogových listů výrobce se vybere šířka pásů (podle měrného výkonu na metr), aby pro daný teplotní spád a délku byl pro jednotlivé sekce pokryt požadovaný instalovaný výkon (kap. 12.3.5);
- podle šířky panelů, teplotních a tlakových podmínek v síti se zvolí způsob zapojení pásů i jednotlivých rozvodných trubek do registrů, tj. sériové nebo paralelní zapojení (kap. 12.3.6);
- podle rozlehlosti se objekt rozdělí na regulační sekce;
- pokud je třeba, navrhne se regulační uzel se směšovacím čerpadlem nebo ejektorový regulační blok;

- navrhne se odvodušnění a vypouštění soustavy (kap. 12.3.7);
- navrhne se větrání (kap. 12.3.8);

12.3.1 Rozmíst'ování sálavých panelů

Při rozmíst'ování sálavých panelů se dodržuje pravidlo, že vzdálenost mezi jednotlivými pasy by neměla být větší, než výška zavěšení. Vzdálenost mezi pasem a ochlazovanou stěnou by pak neměla překročit polovinu výšky zavěšení a to jak v podélném, tak v příčném řezu (obr. 84).



Obr. 84 Optimální rozteče zavěšení sálavých panelů

Jedním z prvků, které ovlivňují hospodárnost návrhu - v daném případě pořizovacích nákladů - je omezení délky rozvodného potrubí pro připojení jednotlivých sálavých pásů. Doporučuje se proto volit v každé samostatně regulovatelné zóně sudý počet pásů. Tímto řešením se prakticky veškeré rozvodné potrubí soustředí pouze u obou čel haly. Sálavé panely se stávají součástí rozvodů. Při volbě počtu pásů je vhodné vycházet z maximální rozteče zavěšení ($l \leq h$) přičemž od vzdálenosti l lze odečíst šířku panelu.

12.3.2 Kompenzace vnějších i vnitřních vlivů ve vytápěné zóně

Všeobecně platné tvrzení, že sálavé vytápění velkoprostorových objektů pomocí zavěšených panelů je proti nástěnným teplovzdušným soupravám hospodárnější. Na jednotlivé části objektu působí různorodé vnější i vnitřní vlivy, jako jsou venkovní stěny, okna, infiltrace, světlíky, technologie, provozní režim atp. Jsou tak vytvářeny zóny s různými nároky na dodávku tepelné energie pro vytápění. Z toho pak vyplývá přirozené rozdělení otopné soustavy na samostatně regulovatelné sekce. Přitom pouhé rozdělení sálavé otopné soustavy na zóny, které vzniknou působením vnějších i vnitřních vlivů (př.: jedna zóna = vnější výrobní loď se stejnou technologií, druhá zóna = vnitřní loď atd.), a následně pak **rovnoměrné osazení sálavé otopné** plochy v těchto zónách je jak z hlediska rovnoměrnosti vytápění, tak z hlediska hospodárnosti provozu **problematické**. Významnou roli pro hospodárny návrh hraje jak **pořadí** v napojení jednotlivých sálavých pásů za sebou, tak také **provozní teploty teplotnosné látky**.

Velký teplotní rozdíl teplotnosné látky 130/70 °C

Při větších teplotních rozdílech $\Delta t = 40 \div 60$ K je možné z hydraulického hlediska vytvářet otopnou plochu pro poměrně dlouhé haly jako jedno „otopné těleso“ (obr. 85). Jeho celková délka: $L = 4 \times 54 \text{ m} = 216 \text{ m}$. Navržené řešení je příkladem nevhodného zapojení sálavých pásů pro vytápění **krajní lodě haly**. Osazení otopnou plochou vychází z tepelné ztráty celé zóny. Díky zvolenému pořadí zapojení sálavých pásů je dodávaná tepelná energie

rovnoměrně na celou plochu - v příčném i podélném řezu je střední teplota teplotnosné látky stejná v obou polovinách lodě: $t_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tepelná ztráta podélné poloviny haly s vnější stěnou včetně infiltrace:	$Q_1 = 73\,600 \text{ W}$
Tepelná ztráta vnitřní podélné poloviny haly:	$Q_2 = 44\,400 \text{ W}$
Celkem:	$Q_c = 118\,000 \text{ W}$

Osazení sálavými panely:

4 x 54 metrů, šířka panelů $B = 600 \text{ mm}$

Polovina haly

$$Q_{i/2} = 59\,940 \text{ W}$$

Celá hala

$$Q_i = 119\,880 \text{ W}$$

Přestože instalovaný výkon dobře odpovídá celkovým tepelným ztrátám, distribuce do prostoru neodpovídá charakteru ochlazování. V krajní části lodi bude buď docházet k nedotápění (v případě že bude regulační čidlo umístěné u vnitřní stěny), nebo se bude zbytečně přetápět vnitřní část lodi (pokud bude čidlo na vnější stěně). Tento problém lze odstranit odlišným zapojením sálavých panelů. Přívod ($130 \text{ }^\circ\text{C}$) od zdroje by měl být nejprve zapojen do krajního pásu u ochlazované stěny a pak postupně do dalších směrem dovnitř (obr. 86). Tímto způsobem bude dosažena v krajní části lodi vyšší střední teplota teplotnosné látky (cca $115 \text{ }^\circ\text{C}$) a současně ve vnitřní části bude střední teplota nižší (cca $85 \text{ }^\circ\text{C}$). Instalovaný výkon do jednotlivých částí již nyní odpovídá:

vnější polovina lodě
vnitřní polovina lodě

$$Q_{i/2} = 73\,332 \text{ W};$$

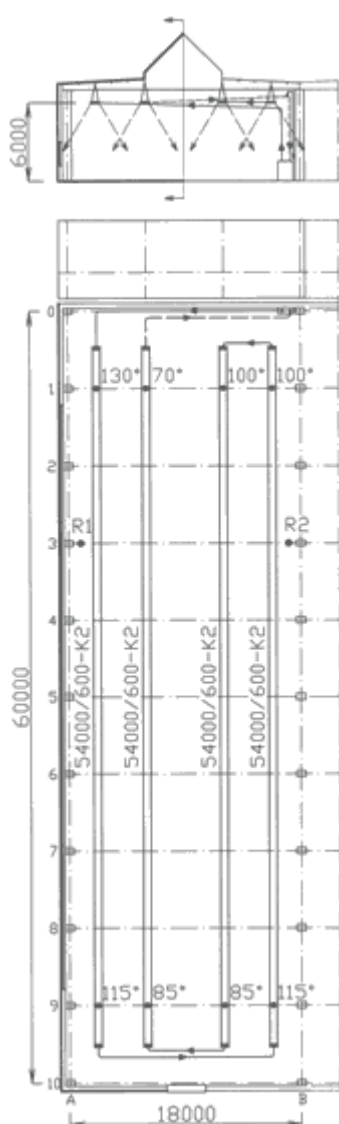
$$Q_{i/2} = 47\,196 \text{ W}.$$

Jak je z porovnání s tepelnými ztrátami obou podélných polovin krajní haly zřejmé, jsou hodnoty téměř srovnatelné, tudíž může být dosaženo rovnoměrného vytápění po celé ploše v optimálním provozním režimu. Čidlo snímající vnitřní výslednou teplotu může být umístěno jak na vnější stěnu, tak do vnitřní části (sloup). Je tudíž tento princip zapojení vyhovující.

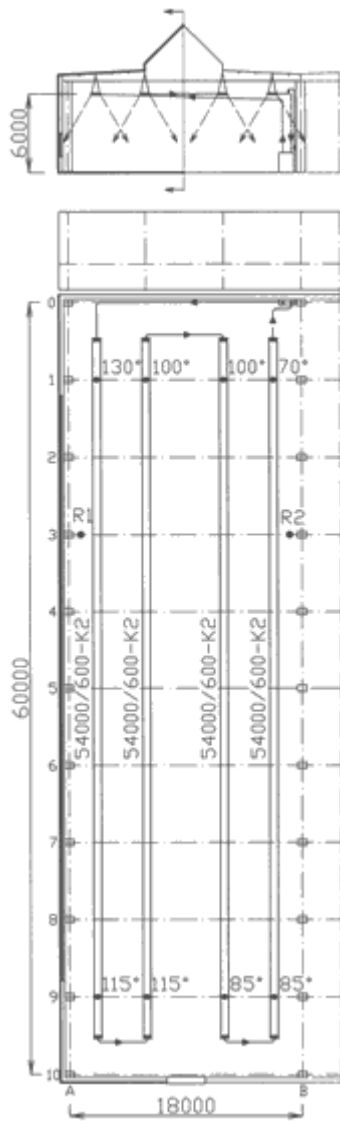
Obdobně by se postupovalo u prostřední, neochlazované lodi haly. V takovém prostoru je nejvíce ochlazovanou konstrukcí světlík. Proto je třeba zvýšit výkon v oblasti světlíku. Při velkém teplotním spádu je opět možné využít způsobu zapojení jednotlivých pásů (obr. 87). Přívod se zapojí nejprve do pásů u světlíku a teprve poté do pásů krajních. Tímto způsobem se opět dosáhne optimální distribuce tepelné energie do prostoru.

Malý teplotní rozdíl teplotnosné látky 90/70 °C

V případě malého teplotního rozdílu již nestačí pokrýt rozdílné potřeby jednotlivých částí pouze zapojením a je třeba volit jinou cestu. Zde připadá v úvahu volba odlišné šířky panelů v jednotlivých částech (obr. 88 a 89). Proto je nutné nezapojovat všechny sálavé panely do jednoho tělesa, ale panely s různými šířkami oddělit i hydraulicky.



Obr. 85 *Krajní lod'.*
Nevhodné zapojení sálavých
pásů v krajní lodi při velkém
teplotním rozdílu teplotnosné
látky (130/70°C)



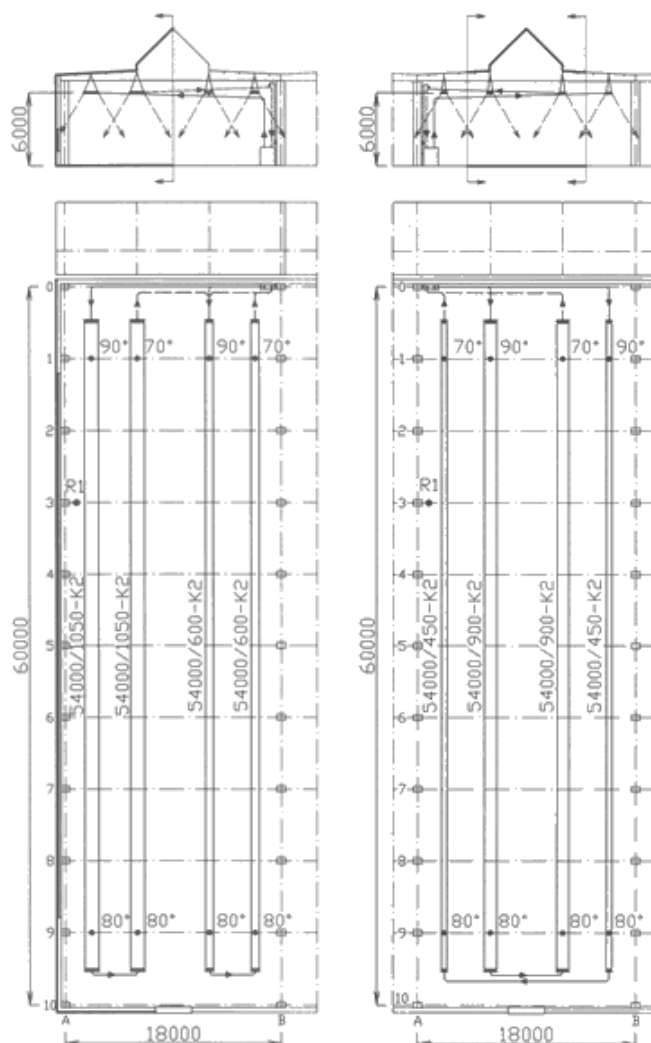
Obr. 86 *Krajní lod'.*
Správné zapojení sálavých
pásů v krajní lodi při velkém
teplotním rozdílu teplotnosné
látky (130/70°C)



Obr. 87 *Vnitřní lod'.*
Správné zapojení sálavých
pásů ve vnitřní lodi při
velkém teplotním rozdílu
teplotnosné látky (130/70°C)

12.3.3 Stanovení tepelné ztráty

Tepelná ztráta se stanoví jedním ze standardních postupů dle ČSN EN 12 831 nebo dle ČSN 06 0210. Druhá zmiňovaná norma již sice není platná, ale postup, který představuje, je zavedený a poskytuje pro návrh vytápění velkoprostorových objektů uspokojivější výsledky než EN. Jediné, co je třeba mít před výpočtem na paměti je rozdělení objektu na stejným způsobem ochlazované části (viz. kapitola 12-3-4). Po stanovení tepelných ztrát pro jednotlivé samostatné části se potvrdí definitivní rozmístění panelů a určí se definitivní délky pásů.



*Obr. 88 Krajní loď.
Správné zapojení
sálavých pásů
v krajní lodi při malém
teplotním
rozdílu teplotnosné látky
(90/70 °C)*

*Obr. 89 Vnitřní loď.
Správné zapojení
sálavých pásů
ve vnitřní lodi při malém
teplotním
rozdílu teplotnosné látky
(90/70 °C)*

12.3.4 Stanovení potřebného instalovaného výkonu

Jelikož jsou měrné výkony sálavých panelů z katalogů výrobců stanoveny při určitých nominálních podmínkách, je třeba počítat s různými korekcemi podle toho, jak se od nominálních podmínek ty skutečné liší.

Výška zavěšení – negativní vliv

Tabulkové výkony panelů jsou stanoveny pro výšku zavěšení 6 m. Se zvyšující se výškou zavěšení dochází jednak k výraznějšímu pohlcování záření prostředím a jednak k většímu rozptylu na obvodové zdi. Proto je třeba adekvátně zvýšit výkon sálavých panelů.

$$Q_{kor} = Q_z \cdot f_1, \quad [W] \quad (12-3)$$

kde Q_{kor} [W] požadovaný výkon panelů – korigovaný,
 Q_z [W] tepelná ztráta,
 f_1 [-] korekční součinitel – výška zavěšení, negativní vliv.

Tab. 19 Korekční součinitel f_1 pro výšku zavěšení

H [m]	6	8	10	12	15	20
f_1 [-]	1,00	1,08	1,12	1,18	1,25	1,30

Výška zavěšení – pozitivní vliv

V případě, že je možné zavěsit panely v hale níže, projevuje se opačný efekt. Se snižující se výškou zavěšení stačí nižší výkon k zabezpečení tepelné pohody v pracovní oblasti. K tomuto účelu slouží korekční součinitel f_2 . Pro určení správného korekčního součinitele se použije tabulka 20, kde se dosadí pro konkrétní rozměry vytápěného prostoru L/B poměr výšky zavěšení h a výšky haly $H - 1$ metr, který se bere za referenční.

$$Q_{kor} = Q_z \cdot f_2, \quad [W] \quad (12-4)$$

kde Q_{kor} [W] požadovaný výkon panelů – korigovaný,
 Q_z [W] tepelná ztráta,
 f_2 [-] korekční součinitel – výška zavěšení, pozitivní vliv.

Tab. 20 Korekční součinitel f_2 pro výšku zavěšení

$\frac{h}{H-1}$	L/B		
	2	2-5	5
1,00	1,000	1,000	1,000
0,95	0,967	0,981	0,989
0,90	0,935	0,963	0,979
0,85	0,904	0,944	0,969
0,80	0,874	0,927	0,959
0,75	0,845	0,910	0,949
0,70	0,817	0,879	0,939
0,65	0,790	0,877	0,932
0,60	0,764	0,861	0,926
0,55	0,739	0,845	0,920
0,50	0,715	0,830	0,911
0,45	0,692	0,816	0,893

Prostorová teplota

Protože výkon panelů byl měřen při teplotě 20 °C, je třeba v jiných případech použít korekční součinitel f_3 .

Tab. 21 Korekční součinitel f_3 na změnu vnitřní výpočtové teploty

t_i [°C]	24	22	20	18	16	14	12	10
f_3 [-]	1,03	1,01	1,00	0,99	0,97	0,96	0,95	0,94

12.3.5 Výkon sálavých panelů

Měrný výkon teplo- horkovodních sálavých panelů se určí podle následujícího vztahu:

$$q_0 = 1,1 \cdot C \cdot \Delta t^n, \quad [\text{W/m}] \quad (12-5)$$

kde $\Delta t = (t_m - t_g)$ [K], (12-6)

t_m střední teplota teplotnosné látky $(t_1+t_2)/2$ [°C],

t_g výsledná teplota ve vytápěném prostoru [°C],

C experimentálně stanovená konstanta [-],

n teplotní exponent panelu [-].

Orientační hodnoty experimentálních konstant C a n pro jeden typ sálavých panelů (lamely o šířce 150 mm) lze nalézt v tabulce 22.

Tabulka č. 22 Hodnoty pro výpočet výkonu panelů

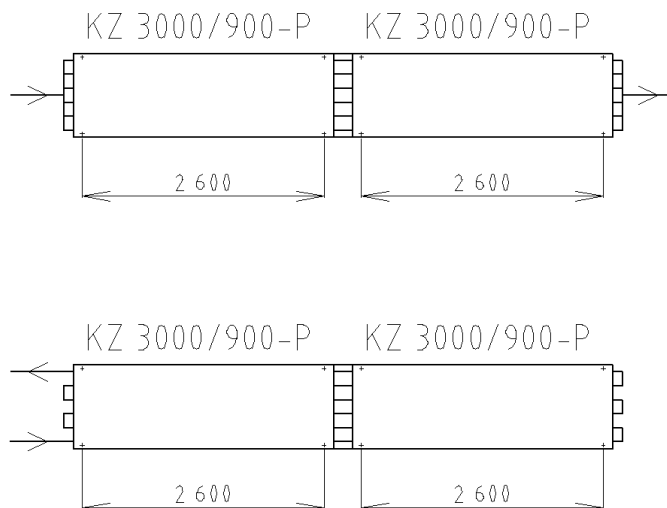
B [mm]	C [-]	n [-]
300	1,52	1,18
450	2,17	1,18
600	2,67	1,19
750	3,24	1,19
900	3,79	1,19

Po výpočtu měrného výkonu se podle délky panelů vypočte celkový instalovaný výkon a zkontroluje se s korigovanou tepelnou ztrátou Q_{kor} . Dále se na základě tepelného spádu a počtu panelů se zvolí zapojení pasů a rozdělení do hydraulických sekcí. Provede se hydraulický výpočet potrubní sítě pro stanovení tlakových ztrát a navrhne se směšovací uzel nebo ejektorový blok (regulace).

12.3.6 Hydraulické zapojení

Součástí správného návrhu vytápění sálavými panely by měl být i detailní výpočet hydraulických poměrů v otopné soustavě. Protože cílem je minimalizovat počet armatur v oblasti pod střešou haly, je třeba k hydraulickému vyvážení použít jiné prostředky.

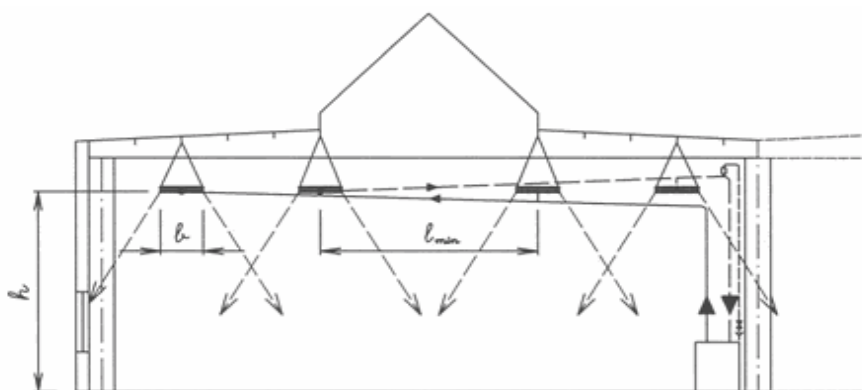
Výhodou sálavých pásů je, že jsou tvořeny z jednotlivých trubek, které je možné zapojit různým způsobem a to nejen pásy jako celek, ale i jednotlivé trubky uvnitř pásu (obr. 90). Jediným omezením je pravidlo, že by napříč sálavým panelem neměla být teplotní diference větší než 10 až 15 K. Díky teplotní délkové roztažnosti by mohlo dojít ke kroucení celého pásu.



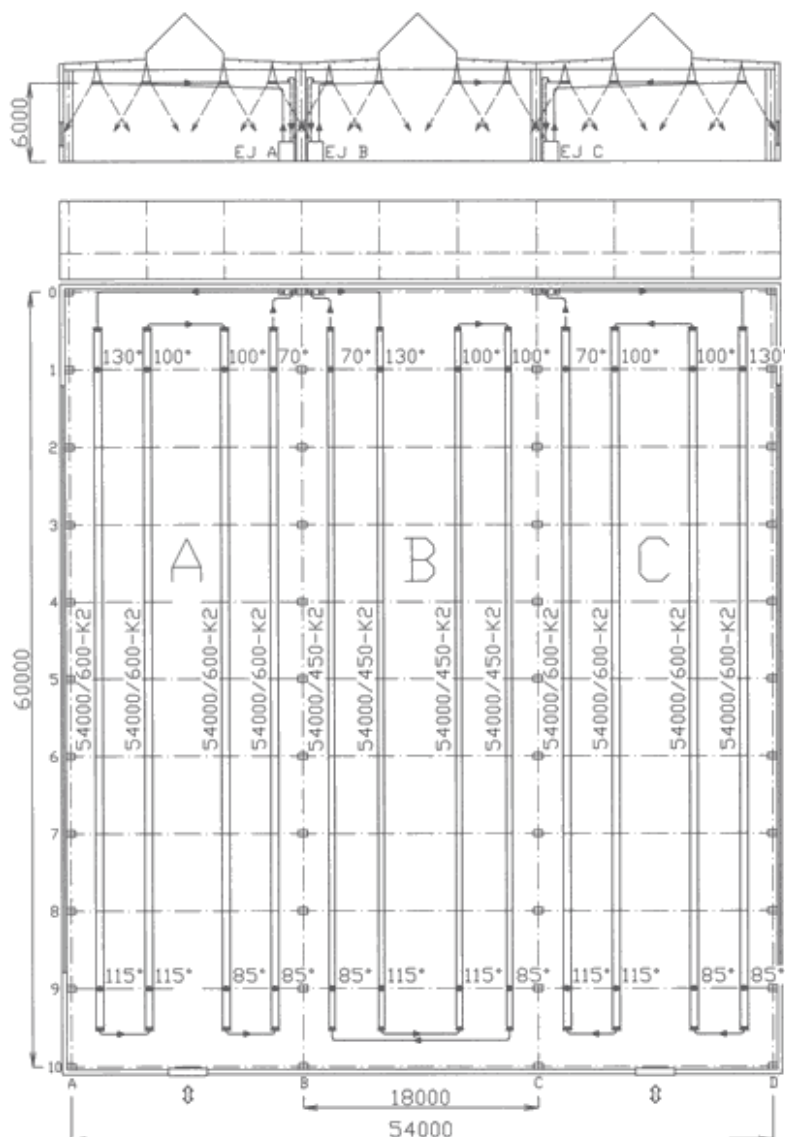
Obr. 90 Hydraulická zapojení sálavých pásů

12.3.7 Odvzdušnění a vypouštění

Důležitým krokem je kontrola rychlosti proudění teplotnosné látky v trubkách panelů. Při jejich vodorovném zavěšování je třeba dodržet minimální rychlost $v_{min} = 0,15$ m/s. Vzduchové bublinky jsou unášeny ve směru proudění teplotnosné látky. Potom je možné odvzdušňovat jedním zařízením až na konci sekce, přímo v blízkosti regulačního uzlu. Doporučuje se používat odvzdušňovací nádobku se svodem nad podlahu a zde pak instalovat vypouštěcí armaturu. Automatické odvzdušňovače nejsou vhodné s ohledem na možnost poruch ve výškách \implies náročnost pro obsluhu a údržbu. Takovéto řešení vyžaduje, aby přívod k sálavým panelům i zpátečka od sálavých panelů stoupaly. Potom je možné umístit do systému odvzdušňovací nádobku pouze jednu, a navíc její „ovládání“ (kulový kohout) umístit přímo k regulačnímu uzlu, čímž lze dosáhnout optimálního řešení – všechny ovládací prvky a armatury v jednom místě.



Obr. 91 Odvzdušnění a vypouštění



Obr. 92 Příklad návrhu sálavých panelů v průmyslové hale při teplotním spádu teplotnosné látky 130 / 70 °C

12.3.9 Ekonomické vyhodnocení

Pro celkové posouzení je vždy důležité hodnotit nejen investiční, ale také provozní náklady po dobu životnosti. Mezi investiční náklady patří pořizovací náklady na sálavé panely, spojovací fitinky, zavěšovací řetězky, rozvodné potrubí s izolací, regulační uzel, montáž a uvedení do provozu. Sekundárními pořizovacími náklady jsou pak náklady na vzduchotechnický systém. Provozní náklady jsou nejen náklady na spotřebované teplo, ale také náklady na provoz oběhových čerpadel. Z ekonomického hlediska je třeba uvažovat při návrhu následující trend. **Dva úzké sálavé pásy jsou dražší než jeden ekvivalentní panel o dvojnásobné šířce.**

12.3.10 Příklad návrhu

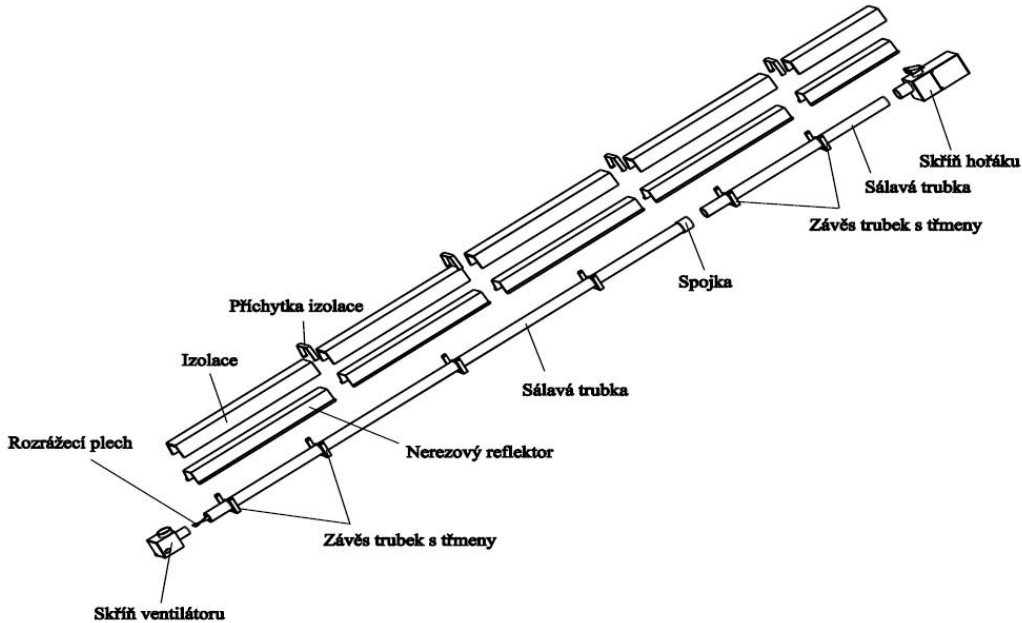
Při dodržení výše zmíněných doporučení lze na závěr hovořit o hospodárné otopné soustavě (obr. 92)

13. Vytápění světlymi a tmavými plynovými zářiči

13.1 Charakteristika světlych a tmavých plynových zářičů

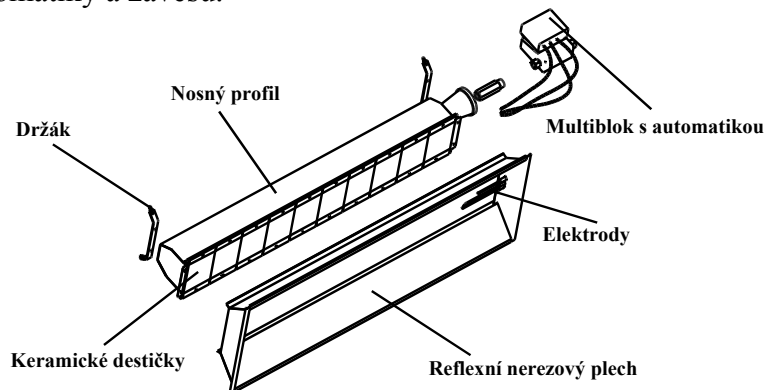
Tmavé plynové zářiče docilují potřebného výkonu spalováním plynu v hořácích umístěných v řídicí skřínce, odkud jsou spaliny vedeny do trubíc opatřených reflexními zákryty. Zavěšují se buď vodorovně pod strop, nebo šikmo na stěny vytápěného objektu. Při šikmém zavěšení však značně klesá jejich účinnost. Povrchová teplota trubíc na vstupu spalin je cca 500 °C, při výstupu pak 180 °C. Při těchto rozdílech teplot se dosahuje nejvyšší účinnosti využití plynu. Některé typy zářičů (krátké s menšími průměry trubíc) dosahují vysoké výkony, avšak s malou účinností - teplota spalin při výstupu ze zářiče má 250 až 280 °C. Spaliny od tmavých zářičů jsou odváděny kouřovodem mimo vytápěný objekt. Hlavními částmi tmavého

plynového zářiče jsou: hořáková a ventilátorová trubka, řídicí automatika s hořákem a spalinovým ventilátorem, reflexní zákryt a závěsy (obr. 93). Další komponenty závisí na konkrétním výrobcí a investorovi.



Obr. 93 Konstrukce tmavého plynového zářiče

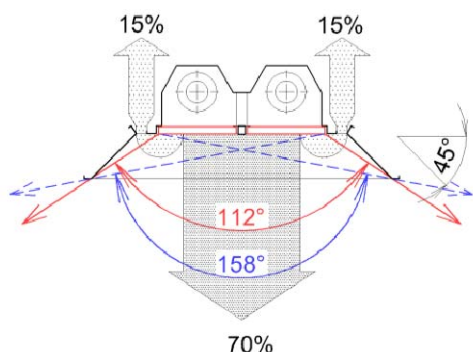
Světlé plynové zářiče (obr. 94) s činnou otopnou plochou z keramických destiček mají povrchovou teplotu 850 až 950 °C a při provozu „svítí“ (odtud světlé). Materiál destiček je vesměs stejný. Jedná se o keramické perforované destičky, na jejichž povrchu dochází k difúznímu spalování směsi. Na výkon zářiče má kromě velikosti sálající plochy vliv také teplota plamene a ta závisí na přebytku spalovacího vzduchu a tlakových poměrech za automatikou. Díky způsobu spalování mají tyto zářiče velmi malou produkci škodlivin (NO_x) a proto se spaliny u tohoto typu zářičů odvádějí nepřímo axiálním ventilátorem umístěným v nejvyšším místě haly (ČSN EN 13410). Tento ventilátor musí být provozně spojen s funkcí zářičů tak, aby byl v provozu vždy, když bude v provozu kterýkoli světlý zářič. Konstrukce světlého plynového zářiče se značně liší v závislosti na konkrétních úpravách každého výrobce. Základní konstrukce je však stejná. Většinou se skládá ze směšovací komory (nosný profil), keramických destiček, reflexního zákrytu, zapalovací a ionizační elektrody, plynové trysky, řídicí automatiky a závěsů.



Obr. 94 Konstrukce světlého plynového zářiče

13.2 Sálavá účinnost

Sálavá účinnost u světlých a tmavých zářičů je definována podílem tepelného výkonu sdíleného do okolí sáláním a příkonem v palivu (obr. 95).

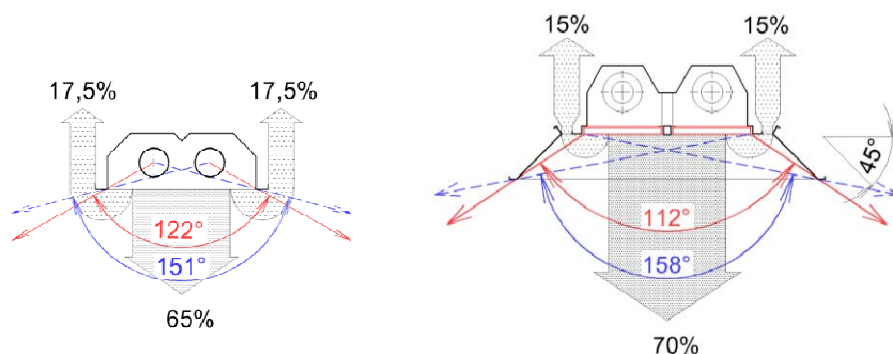


$$\eta_s = \frac{Q_s}{Q_p} \quad (13-1)$$

Obr. 95 Rozdělení celkového výkonu sálavého panelu na sálavou a konvekční složku

13.3 Jádrové a celkové sálání

Nejdůležitějším parametrem pro návrh rozmístění je tzv. úhel jádrového sálání (obr. 96 – plná šipka). Určuje oblast, do které dopadá cca 90 % tepla předaného do prostoru sáláním. Vymezený prostor se nazývá oblastí jádrového sálání. Velikost úhlu jádrového sálání, popř. vzorec pro výpočet optimální vzdálenosti dvou zářičů by měl poskytnout každý výrobce těchto zařízení.



Obr. 96 Úhly jádrového (plná šipka) a celkového (přerušovaná šipka) sálání u typického světlého (vlevo), resp. tmavého (vpravo) zářiče

13.4 Metodika výpočtu zářičů

Metodika by měla být spíše založena na tepelném komfortu osob, což ukazují práce Doc. Ing. Dr. Jaromír Cihelky, CSc. nebo metodika ASHRAE. Problémem metodiky, kterou navrhl Doc. Cihelka ovšem je, že je třeba sestavit a vyřešit soustavu rovnic pro každou separátní část objektu a při každé změně rozmístění zářičů. Tento postup je pro praktické projektování poněkud komplikovaný a proto bylo třeba použít metodiku jinou. Z důvodu absence platného technického předpisu v ČR, který by popisoval návrh světlých a tmavých plynových infrazářičů, vychází z německých technických pravidel G 638/I.

13.4.1 Definice

Návrhový tepelný výkon $Q_{HL,i}$ [W] je požadovaný tepelný výkon nutný k zajištění definovaných návrhových podmínek.

Návrhová tepelná ztráta Q_{HL} [W] je množství tepla za časovou jednotku unikající z budovy do venkovního prostředí za definovaných návrhových podmínek, dle ČSN EN 12831:2004.

Nepřímý odvod spalin je způsob odvodu spalin, při kterém nejsou produkty spalování přímo odváděny kouřovodem do venkovního prostoru, ale odvádí se až směs spalin s okolním vzduchem.

Přímý odvod spalin je standardní způsob odvodu spalin kouřovodem mimo vytápěný prostor.

Reflexní zákryt je kovový kryt připojovaný k tělu zářiče za účelem zvýšení množství tepla dodávaného do pracovní oblasti.

Sálavá účinnost η_s [-] je poměr mezi tepelným tokem přeneseným do prostoru sáláním a celkovým tepelným tokem předaným do místnosti.

Spotřebič provedení A je spotřebič, který není určen pro připojení ke kouřovodu nebo k zařízení pro odvádění spalin mimo prostor, v němž je spotřebič instalován (TPG 800 00).

Tepelný příkon zářičů Q_p [W] je definován jako množství energie spotřebované za jednotku času odpovídající objemovému nebo hmotnostnímu průtoku plynu; použitá tepelná hodnota je buď výhřevnost, nebo spalné teplo.

Účinnost využití spalin η_c [-] je poměr mezi celkovým tepelným tokem předaným do vytápěného prostoru a celkovým tepelným příkonem zářiče.

Úhel jádrového sálání α [°] je úhel mezi mezními paprsky spojujícími kraje keramických destiček s přilehlým spodním okrajem reflexního zákrytu (vymezuje oblast, do které směřuje 90 % tepla sdíleného sáláním).

Úhel všeobecného sálání β [°] je úhel mezi mezními paprsky spojujícími kraje keramických destiček s protilehlým spodním okrajem reflexního zákrytu (vymezuje oblast, do které směřuje 100 % přímého sálání keramických destiček).

Úhel nastavení reflexního zákrytu γ resp. δ [°] je ostrý úhel mezi reflexním zákrytem a pomyslnou rovinou povrchu sálající plochy (keramické destičky) v ose x , resp. y .

Vytápění celoplošné si klade za cíl vytvoření tepelné pohody v obytných zónách celého vytápěného prostoru.

Vytápění lokální vytváří podmínky tepelné pohody jen v určité lokální části vytápěného prostoru.

Závěsný světlý zářič je závěsné sálavé topidlo, v němž teplo vzniká difúzním spalováním směsi plynu a vzduchu na povrchu specifického materiálu nebo v jeho blízkosti (tímto materiálem je například keramická destička nebo drátěné pletivo).

Závěsný tmavý zářič je závěsné sálavé topidlo, v němž teplo vzniká spalováním směsi plynu a vzduchu uvnitř uzavřeného prostoru (nejčastěji trubky), teplosměnná plocha tohoto prostoru se ohřívá a předává teplo do prostoru sáláním.

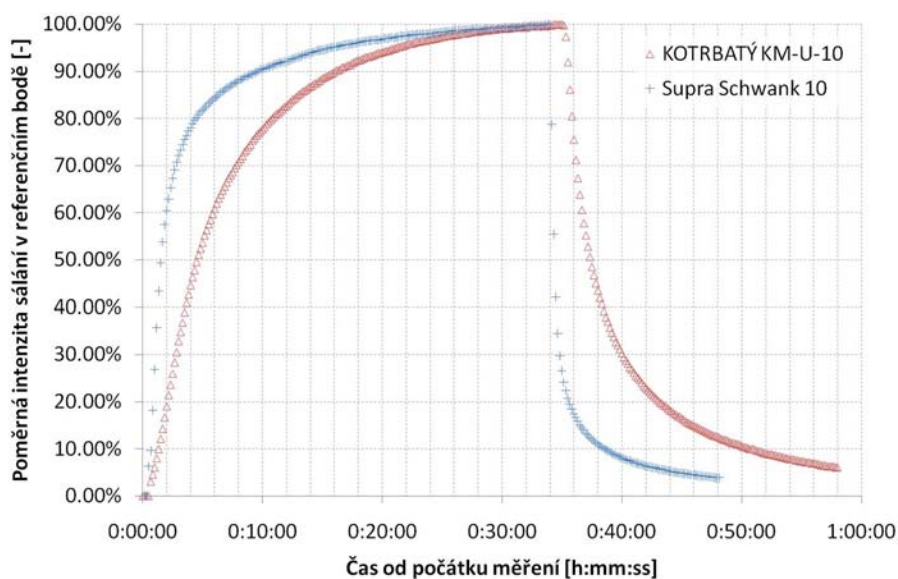
13.4.2 Druh a typy zářičů

Před započítáním návrhu je nutné ověřit, zda je možné pro vytápění objektu plynové zářiče použít vzhledem k příslušným požárním požadavkům ČSN 06 1008:1997 (prostředí nesmí být hořlavé ani výbušné).

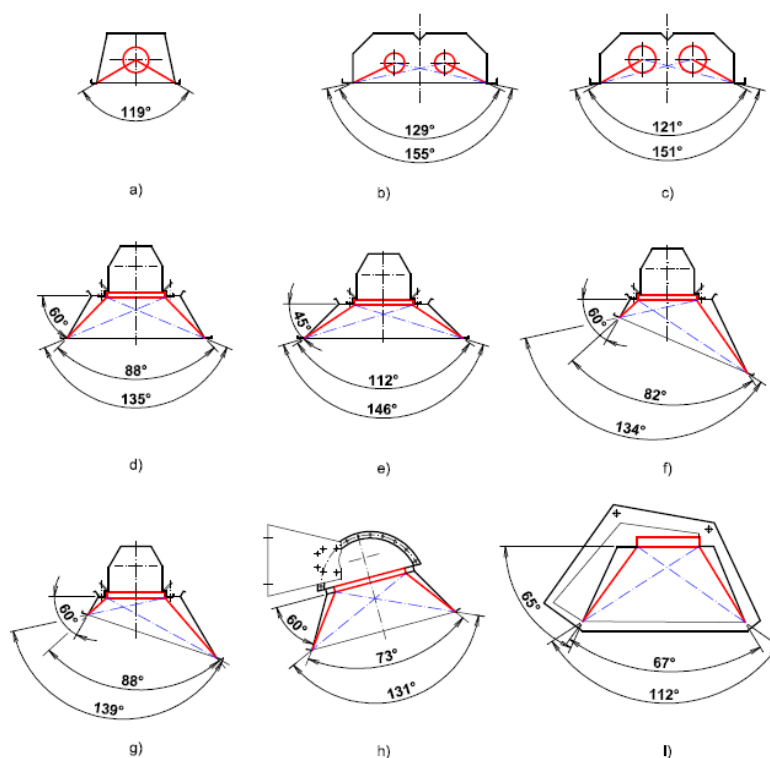
Pokud tyto požadavky prostředí splňuje, pokračujeme s výběrem vhodného druhu zářiče. Při výběru jsou tři možnosti. Světlé zářiče, u kterých se povrchová teplota činné sálající plochy pohybuje okolo 900 °C, tmavé vysokoteplotní zářiče se střední povrchovou teplotou 350 °C a zářiče tmavé nízkoteplotní (kompaktní) se střední povrchovou teplotou 200 °C, ale může být i nižší. Pro jejich instalaci platí podobné principy.

Z vyhodnocení, které provedl Gaswärmeinstitutu v Essenu vyplývá, že srovnatelné ekonomické použití tmavých a světlých plynových zářičů se nachází ve výšce 6 m nad podlahou. Ve výšce 10 m je účinnost tmavého zářiče o 15 % a ve výšce 15 m až o 27 % nižší než u světlého zářiče. Při nižších výškách zavěšení je naopak nutné z důvodů možného lokálního přehřívání používat zářiče s nižší intenzitou sálání (nižší povrchovou teplotou) nebo zvolit více světlých zářičů nižších výkonů. Další snížení výšky zavěšení lze dosáhnout umístěním zářičů na stěny objektů (šikmé provedení reflexních zákrytů). Tato úprava se však doporučuje pouze u světlých zářičů, neboť u zářičů tmavých dochází, při šikmém zavěšení, ke značným tepelným ztrátám konvekcí. Zjednodušeně řečeno, můžeme volit **pro haly s výškou zavěšení $h \leq 6$ m zářiče tmavé**, které mohou být v místech, kde jsou vysoké nároky na okamžitou potřebu tepla (často otevíraná vrata, expediční prostory) vhodně doplněny zářiči světlými z důvodu jejich rychlejší doby náběhu (obr. 97). Pro vysoké haly s výškou zavěšení **$h > 6$ m volíme zářiče světlé**.

I v rámci jednoho druhu zářičů mohou existovat různé konstrukční typy s různými úhly jádrového α [°] a celkového β [°] sálání (obr. 98). Konstrukční provedení (velikost úhlů jádrového a všeobecného sálání) ovlivňuje způsob distribuce tepla do okolí.



Obr. 97 Doby náběhu světlého zářiče s delta komorou (Supra Schwank 10) a tmavého vysokoteplotního zářiče (Kotrbatý KM-U-10)



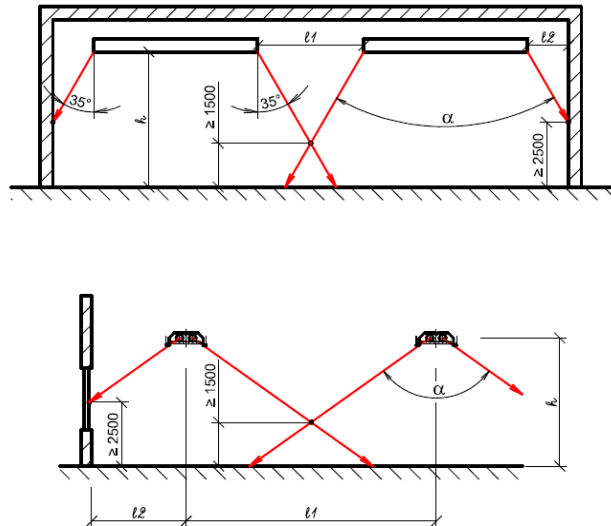
Obr. 98 Úhly jádrového (červené paprsky) a celkového (modré paprsky) sálání jednotlivých druhů (typů) zářičů; a až c – tmavé, jedno- i dvou- trubkové; d až g – světlé, otevřený zákryt, vodorovné i šikmé provedení; h až i – světlé, uzavřený zákryt

13.4.3 Rozmíst'ování zářičů

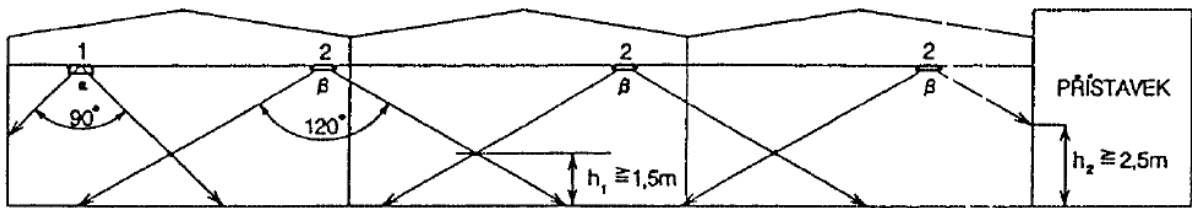
Tmavé zářiče

Aby byla zajištěna rovnoměrnost vytápění v celé pracovní oblasti, měly by se paprsky, které vymezují oblast jádrového sálání protínat **mezi dvěma zářiči cca 1,5 m nad podlahou**. U **venkvních stěn** by se měl průsečík mezních paprsků a stěny vyskytovat výše - **cca 2,5 m nad podlahou**, aby bylo lépe zajištěno pokrytí tepelné ztráty a eliminovány chladné konvektivní proudy (obr. 99). Tam, kde jsou umístěna pracoviště přímo u oken, je lépe umístit tento průsečík ještě výše - zářič situovat blíže ke stěně, aby se vyrovnal nepříznivý vliv chladných ploch oken a stěny. V případě, že je mezi dvěma zářiči umístěna komunikace, je možné vzít jako vodítko průsečík všeobecného sálání a jeho výšku nad podlahou $h_1 > 2,5$ m.

Důvodem dvojího konstrukčního řešení tmavých zářičů s hlubokým zákrytem (ALFA x BETA) je skutečnost, že u dobře izolovaných staveb je potřeba tepla pro vytápění nižší. Zářiče s malým úhlem jádrového osálání (114°) by nezajistily rovnoměrnost vytápění, velký výkon je soustředěn do úzkého pásma. Zářiče BETA umožňují rovnoměrnou dodávku tepla (obr. 100) na větší ploše. U širokých hal přichází v úvahu kombinace obou konstrukčních typů. Vyrovnání vlivu obvodového pláště (chladné plochy oken a stěn) zajistí zářič v provedení ALFA s malým úhlem jádrového sálání. Uvnitř haly se pak použijí zářiče BETA.



Obr. 99 Optimální vzdálenosti mezi tmavými zářiči a stěnami v příčném (nahore) a podélném (dole) směru



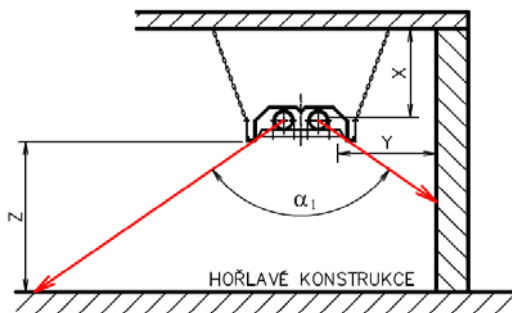
Obr. 100 Vyrovnaní vlivu obvodového pláště a poměru osálení zářiče (1) $\alpha_1 = 90^\circ$ u okraje haly, uvnitř haly zářiče (2) $\alpha_1 = 120^\circ$

Bezpečnostní podmínky

Zářiče jsou topidla s velmi vysokou povrchovou teplotou (až 500°C). Je proto nutné dbát na to, aby tepelné záření nepůsobilo nevhodně na materiály v jejich okolí.

Vzdálenost tmavých zářičů od stavebních konstrukcí a předmětů stanoví obr. 101, kde:

- $x = 800 \text{ mm}$ při vodorovném zavěšení
- $x = 1200 \text{ mm}$ při šikmém zavěšení
- $y = 1000 \text{ mm}$ vzdálenost od svislých konstrukcí
- $z = 2000 \text{ mm}$ vzdálenost hořlavých materiálů umístěných v oblasti jádrového sálení

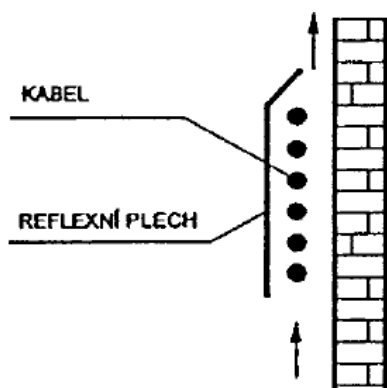


Obr. 101 Vzdálenost tmavých zářičů od stavebních konstrukcí a předmětů

Bezpečná vzdálenost hořlavých konstrukcí od neizolovaných částí kouřovodů odvodem spalin je 1000 mm .

Bezpečná vzdálenost elektrorozvodů, kde by teplota neměla překročit 35 °C je 1500 mm. Při menších vzdálenostech je nutno opatřit kabelový rošt ochranným reflexním zákrytem obr. 102.

- * v oblasti jádrového sálání 1500 mm
- * mimo oblast jádrového sálání 900 mm

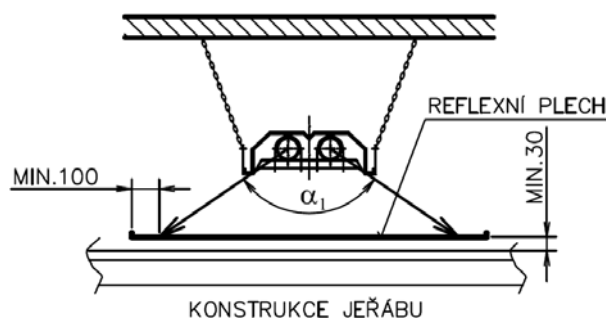


Obr. 102 Ochrana kabelů proti osálení

Mnohdy je zapotřebí umístit zřiče nad jeřábovou dráhu, čímž dochází k situaci, kdy jeřáb pojíždí v těsné vzdálenosti pod funkční plochu zřiče. Ochrana proti přehřátí tělesa jeřábu se provádí instalací reflexního plechu (nerez) ve vzdálenosti cca 20 mm nad konstrukcí jeřábu. Přesah plechu mimo oblast jádrového sálání min. 100 mm. Schéma vyznačuje obr. 103.

Obr. 103 Ochrana jeřábové dráhy před nadměrným osálením

Tam, kde není možné dodržet bezpečné vzdálenosti, je nutno hořlavé konstrukce a kabelové rozvody chránit reflexním plechem obdobně jako při ochraně konstrukce jeřábu.



Doporučené minimální odstupy

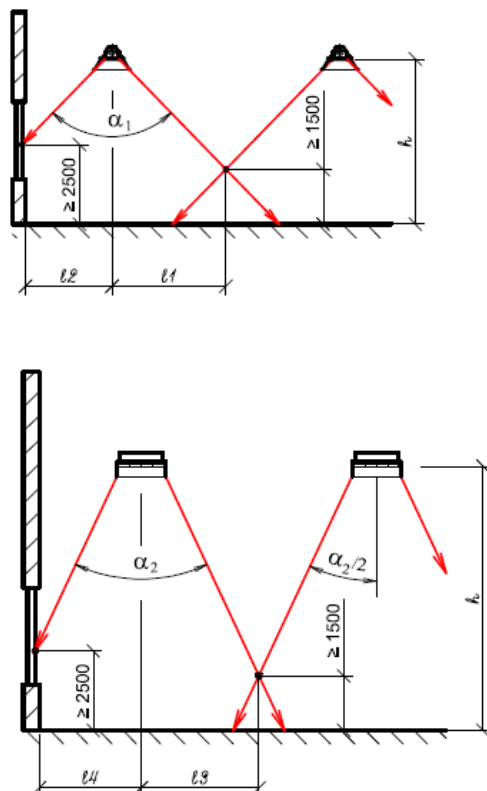
Z hlediska hygienických požadavků, tedy tepelného komfortu osob zdržujících se ve vytápěném prostoru, neplatí v současnosti v ČR žádný závazný právní předpis, který by tuto problematiku upravoval. Pro návrh se doporučuje držet se minimálních výšek zavěšení, které poskytuje každý výrobce (tab. 23).

Tab. 23 Doporučené minimální výšky zavěšení zřičů – celoplošné vytápění

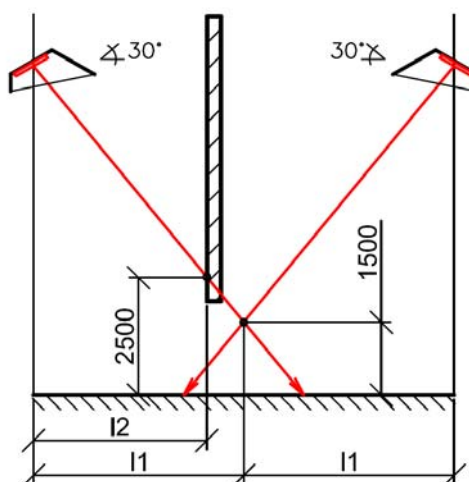
Výška zavěšení	Výkon [kW]	Úhel sklonu [°]		
		0°	15°	30°
h [m]	12	4,2	4,0	4,0
	17	4,3	4,0	4,0
	24	4,5	4,3	4,0
	30	4,7	4,5	4,2
	36	4,7	4,5	4,2
	45	4,9	4,7	4,5

Světlé zářiče

Stejné zásady jako při rozmísťování tmavých zářičů platí i pro zářiče světlé. Rozdíly jsou pouze v úhlech jádrového a celkového sálání (obr. 104, 105, tab. 24). U světlých zářičů se daleko častěji využívá šikmé zavěšení zářičů na stěny objektu. Výrobci většinou nabízí speciální variantu reflexního zákrytu, která odráží sálání směřující mimo vytápěnou oblast zpět do pracovní zóny. U tmavého zářiče se tato konstrukční úprava neobjevuje.



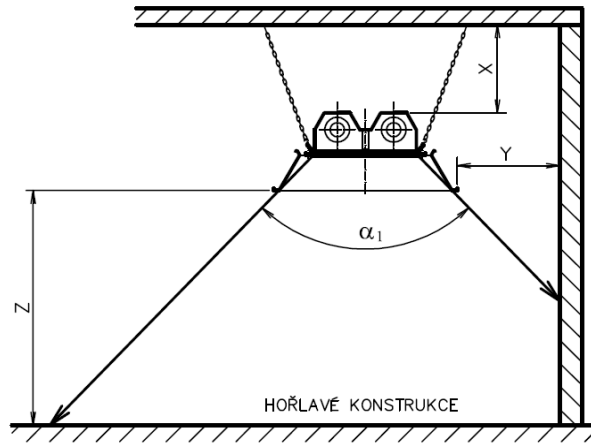
Obr. 104 Optimální odstupy mezi světlými zářiči a zářiči od stěn v příčném (nahore) a podélném (dole) směru při vodorovném zavěšení



Obr. 105 Optimální odstupy mezi světlými zářiči a zářiči od stěn při šikmém provedení

Bezpečnostní podmínky

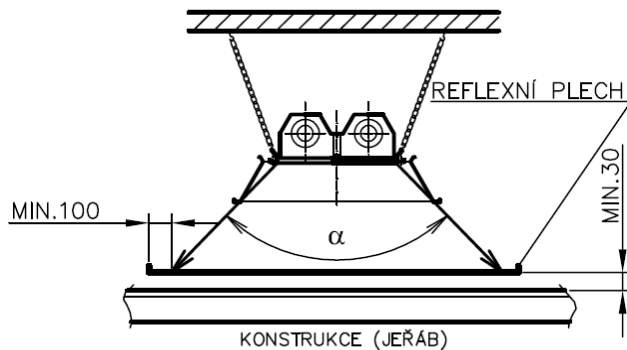
Bezpečné vzdálenosti mezi sálavou plochou zářiče (850 až 900 °C) a hořlavými konstrukcemi stavby jsou ukázány v závislosti na výkonu zářiče na obrázku 106 a tab. 24. Tato vzdálenost zajišťuje, že teplota osálaných ploch nepřekročí 85 °C. V případech, kdy pod zářičem pojíždí jeřáb je, stejně jako v případě tmavých zářičů, nutno v šíři vlivu dopadajícího jádrového sálání umístit nad jeřáb ochranný reflexní plech s přesahem na každé straně a to ve vzdálenosti min 20 mm nad chráněnou částí konstrukce jeřábu - viz obr. 107. S tímto ochranným krytem pak jeřáb trvale pojíždí.



Obr. 106 Vzdálenost světých zářičů od stavebních konstrukcí a předmětů

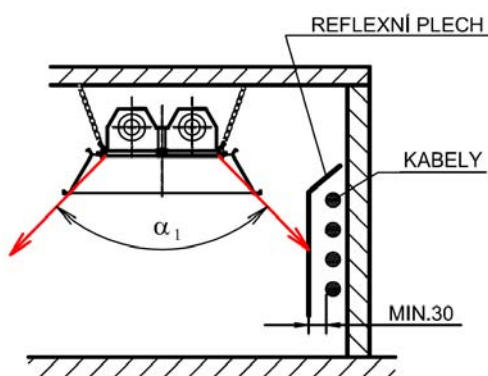
Tab. 24 Bezpečné vzdálenosti od povrchů hořlavých konstrukcí

Výkon [kW]	Bezpečná vzdálenost [m]		
	X	Y	Z
7	1,0	1,0	2,3
11	1,0	1,0	2,4
15	1,2	1,0	2,6
18	1,3	1,2	2,6
25	1,4	1,3	2,7
36	1,6	1,3	2,8
43	1,8	1,4	3,0



Obr. 107 Ochrana jeřábové dráhy před nadměrným osáláním

Tam, kde není možno bezpečné vzdálenosti dodržet, je nutno hořlavé konstrukce a kabelové rozvody ochránit reflexním plechem obdobně jak je uvedeno v případě ochrany jeřábové konstrukce. Tvar ochranného reflexního plechu musí být řešen tak, aby bylo umožněno proudění vzduchu v kabelovém prostoru – viz obr. 108.



Obr. 108 Ochrana kabelů proti osálení

Doporučené minimální odstupy

Z hlediska hygienických požadavků, tedy tepelného komfortu osob zdržujících se ve vytápěném prostoru, neplatí v současnosti v ČR žádný závazný právní předpis, který by tuto problematiku upravoval. Pro návrh se doporučuje držet se minimálních výšek zavěšení, které poskytuje každý výrobce (tab. 25).

Tab. 25 Doporučené minimální výšky zavěšení zářičů – celoplošné vytápění

Výška zavěšení	Typ zářiče	Úhel sklonu	Jmenovitý tepelný výkon zářičů [kW]						
			7	11	15	18	25	36	43
h [m]	Vodorovný	0°	4,6	5,3	5,8	6,1	7,3	7,7	8,8
	Šikmý	30°	4,2	4,8	5,3	5,5	6,6	6,9	7,9

13.4.4 Návrh tepelného výkonu

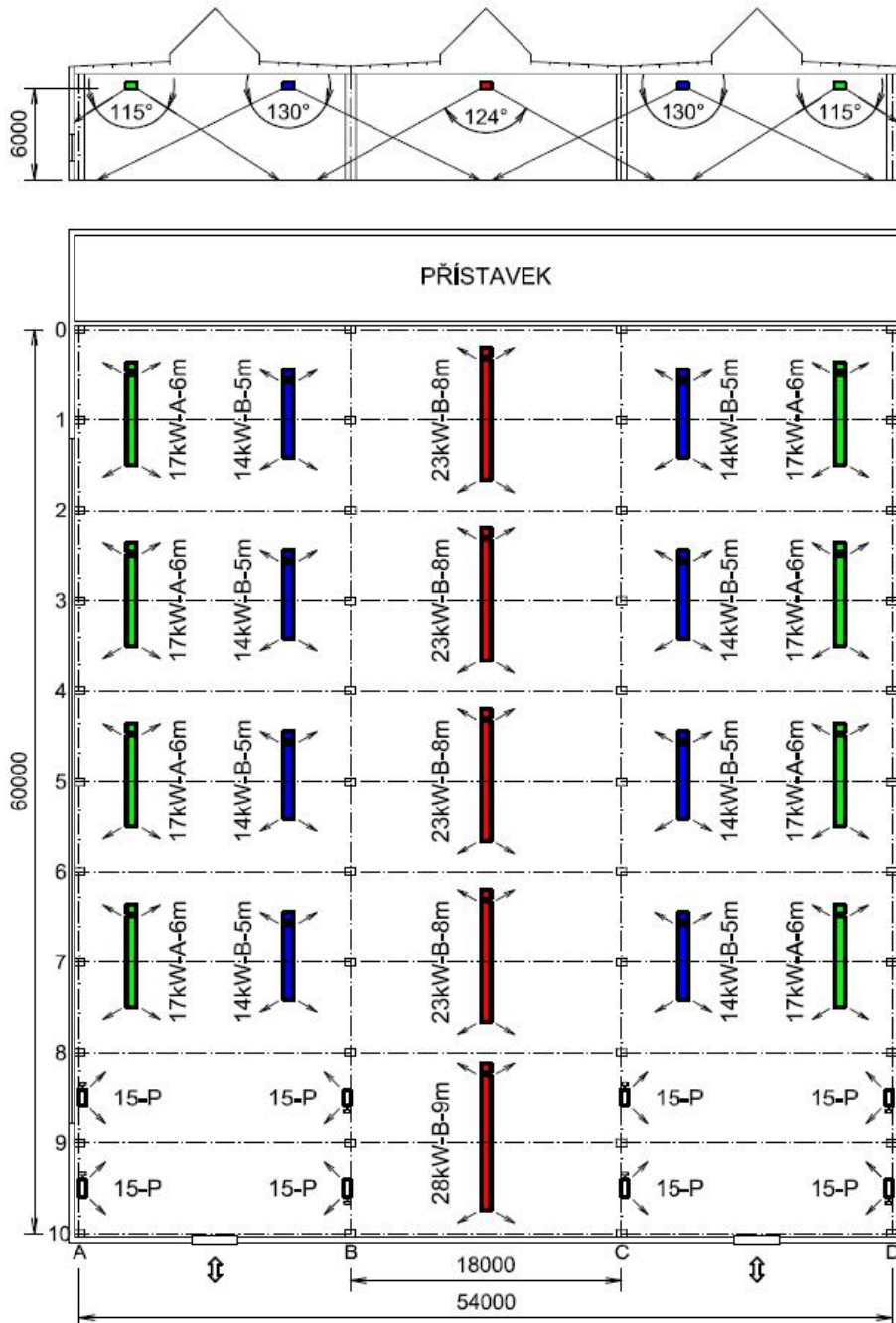
Prvním krokem návrhu je určení přibližného rozmístění zářičů v prostoru. Vychází se z úhlů jádrového sálání, požadavků na provoz a z reálných možností zavěšení (viz výše). Takto rozmístěné zářiče se rozdělí do zón tak, aby prostory, které vytápí, byly ochlazovány stejným způsobem. Je zřejmé, že zóna u oken a otevíraných vrat nebude mít stejnou potřebu tepla jako zóna vnitřní, kde je tepelná ztráta tvořena pouze prostupem střechem a podlahou. Současně by zářiče příslušné stejné zóně měly být zavěšeny a provozovány stejně (vodorovné, šikmé zavěšení; směnnost, regulační zóna). V krátkosti lze shrnout, **rozdělit vytápěný objekt na části stejným způsobem ochlazované a ty pak dále na části, kde jsou uvažovány stejné typy zářičů** (obr. 109 a 110).

Pro každou zónu se následně vypočte návrhový tepelný výkon Q_{HL} , dle ČSN EN 12831:2004. Ten se dále koriguje podle sálavé účinnosti (13-2), vytápěné podlahové plochy, osazení zářiče v prostoru a způsobu odvodu spalin, na instalovaný tepelný výkon $Q_{HL,i}$:

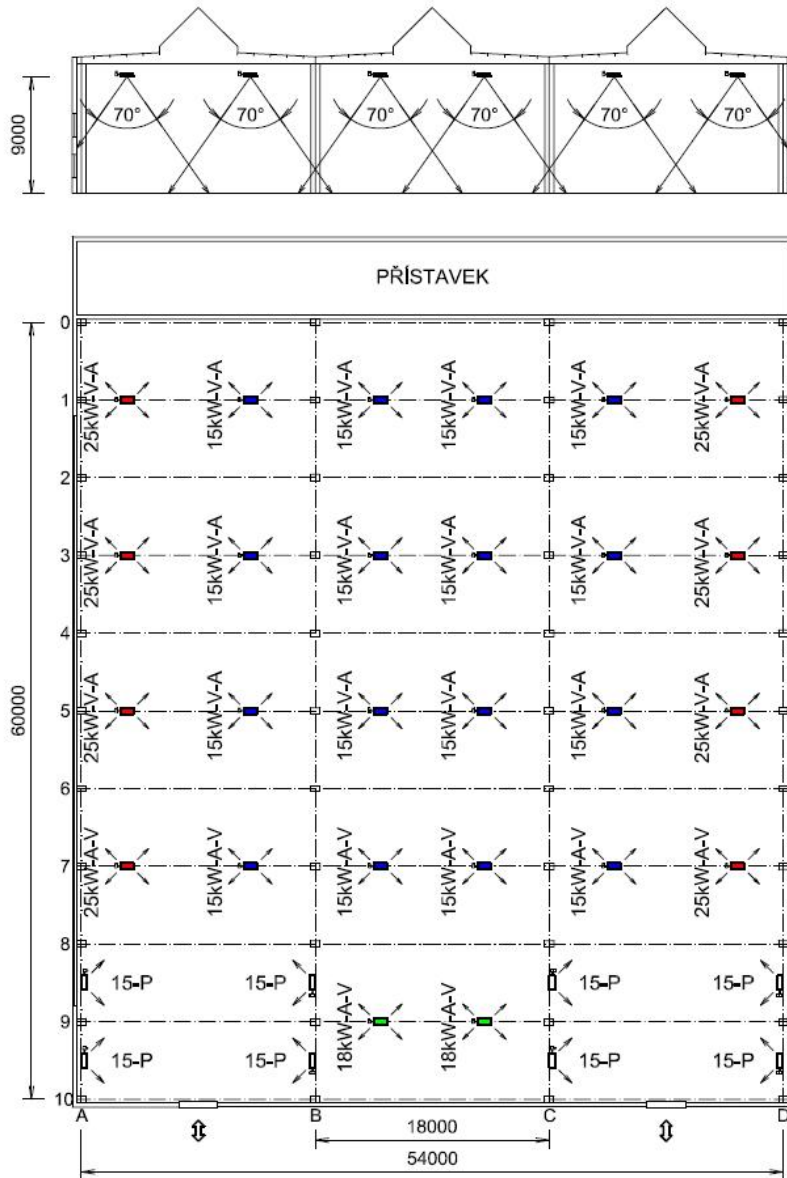
$$Q_{HL,i} = \frac{Q_{HL} \cdot A_P \cdot C_s \cdot \alpha \cdot (t_i - t_{ev})}{Q_{HL} \cdot \eta_F \cdot \eta_S \cdot \varphi_m + A_P \cdot \eta_C \cdot C_s \cdot \alpha \cdot (t_i - t_{ev})}, \quad (13-2)$$

kde: Q_{HL} [W] návrhový tepelný výkon;
 $Q_{HL,i}$ [W] instalovaný tepelný výkon;
 A_P [m²] podlahová plocha vytápěné části;
 C_s [W/(m²K)] specifická potřeba tepla závislá na rychlosti proudění vzduchu (obr. 111);
 α [-] pohltivost prostředí v závislosti na výšce zavěšení (obr. 112);
 t_i [°C] vnitřní výpočtová teplota
 (ČSN EN 12831:2004 – Tabulka NA.2)

- t_{ev} [°C] venkovní výpočtová teplota
 (ČSN EN 12831:2004 – Tabulka NA.1)
 η_F [-] poměr pokrytí (obr. 113 a 114)
 η_C [-] účinnost využití spalin (tab. 26)
 η_S [-] sálavá účinnost (tab. 27);
 φ_m [-] střední poměr osálení na člověka
 (zářič zavěšený vodorovně 0,40; zářič zavěšený šikmo 0,70).



Obr. 109 Příklad rozmístění tmavých zářičů v trojlodní hale, 6 m vysoké;
 střední loď – 28, 23 kW, krajní loď, venkovní polovina – 17 kW, krajní loď,
 vnitřní polovina – 14 kW



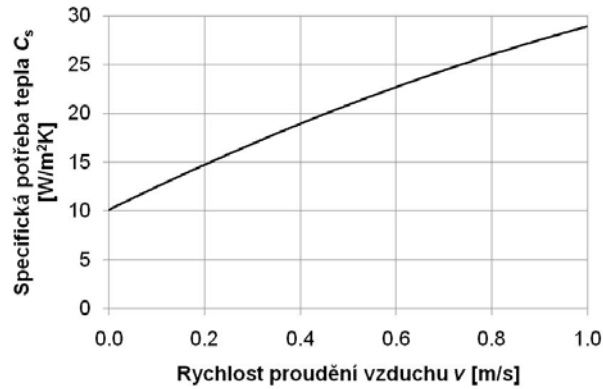
Obr. 110 Příklad rozmístění světlých zářičů v trojlodní hale, 9 m vysoké krajní lodě; venkovní polovina – 25 kW, střední loď, prostor u ochlazované stěny – 18 kW, ostatní vnitřní části lodí – 15 kW

Tab. 26 Účinnost využití spalin η_c vzhledem k vytápěnému prostoru

	η_c [-]
Tmavý zářič přímý odvod spalin z vytápěného prostoru kouřovody (teplota spalin 180 °C)	0,85
Tmavý zářič přímý odvod spalin z vytápěného prostoru kouřovody (teplota spalin > 180 °C)	0,70
Světlé zářiče volně v prostoru, nepřímý odvod spalin	0,95
Světlé zářiče doplněny o sběrací konfuzor spalin, odvod spalin přímý, otevřená spalovací komora	0,60 až 0,73
Světlé zářiče doplněny o sběrací konfuzor spalin, odvod spalin přímý, uzavřená spalovací komora (delta), izolovaný	0,70 až 0,82

Tab. 27 Sálavá účinnost zářičů η_s

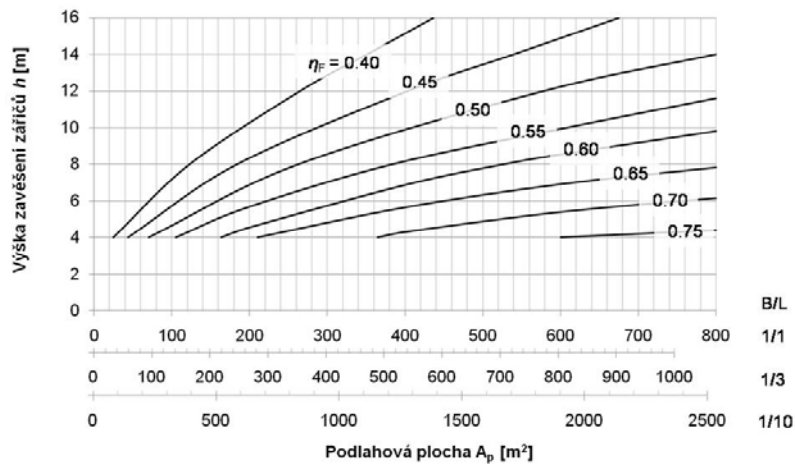
	vodorovně	šikmo 30°
Zářič tmavý neizolovaný s hlubokým reflexním zákrytem	0,63	0,58
Zářič tmavý izolovaný s hlubokým reflexním zákrytem	0,72	0,67
Světlý zářič s otevřenou komorou	0,58	0,55
Světlý zářič s deltovitou komorou neizolovaný	0,67	0,62
Světlý zářič s deltovitou komorou izolovaný, s mřížkou	0,82	0,78



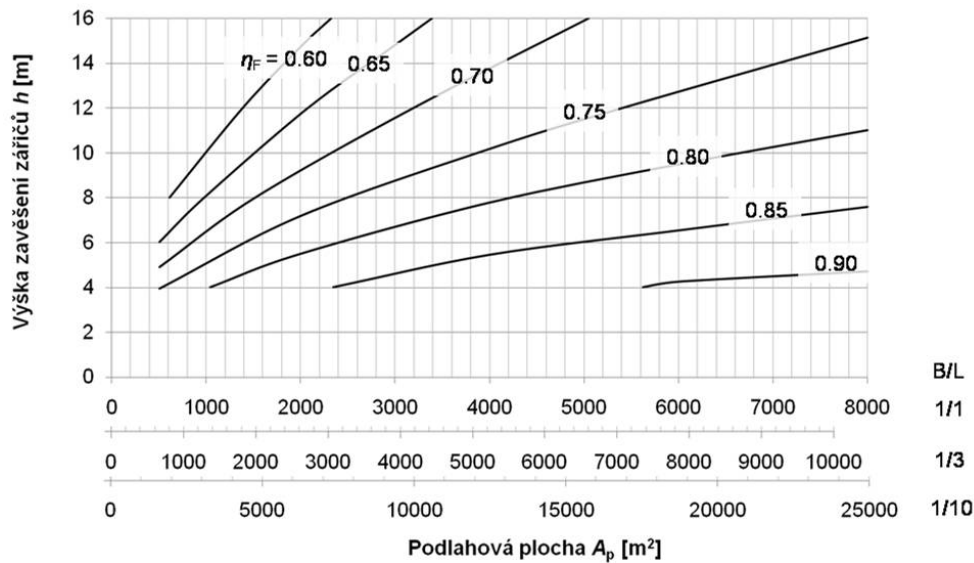
Obr. 111 Závislost specifické potřeby tepla C_s na rychlosti proudění vzduchu v , ve vytápěném prostoru



Obr. 112 Závislost pohltivosti prostředí α na výšce zavěšení zářičů h



Obr. 113 Závislost poměru pokrytí η_F na velikosti podlahové plochy A_p a výšce zavěšení zářičů h pro menší objekty



Obr. 114 Závislost poměru pokrytí η_F na velikosti podlahové plochy A_p a výšce zavěšení zářičů h pro půdorysně rozsáhlejší objekty

Následně po výpočtu potřebného instalovaného výkonu je třeba z podkladů výrobce zvolit zářiče s nejbližším vyšším výkonem.

13.4.5 Potřeba plynu za otopné období

Roční potřeba plynu je vedle potřeby tepla závislá také na druhu regulace, klimatických podmínkách, druhu budovy a na charakteru používání, který určuje, kolik provozních hodin zařízení pracuje. Podle následujícího vztahu lze přibližnou potřebu plynu stanovit:

$$V_r = \frac{b_v \cdot Q_{HL,i} \cdot D}{\Delta t_{max} \cdot H_u}, \quad [m^3] \quad (13-3)$$

kde	b_v	[h/den]	denní počet provozních hodin na plný výkon potřebný ke krytí požadavku na dodávku tepla dle venkovní výpočtové teploty dané klimatické oblasti (5 h při jednosměnném provozu, 9 h při dvousměnném, 12 h při třisměnném provozu);
	H_u	[MJ/m ³]	výhřevnost zemního plynu;
	D	[den·°C]	počet denostupňů;
	Δt_{max}	[K]	maximální rozdíl teplot (vnitřní a venkovní výpočtová).

13.4.6 Regulace a provoz

V průběhu otopného období se venkovní teploty průměrně pohybují vysoko nad hranicí extrémních venkovních výpočtových teplot, na které je systém navržen. Omezení přebytečného výkonu mimo toto období je úkolem kvalitní regulace. Regulace systému je dalším velmi důležitým aspektem, který značně ovlivňuje celkovou roční spotřebu tepla. **Správné umístění regulačních čidel a rozdělení zářičů do zón je proto klíčové.** Regulační čidlo musí být vždy umístěno na takovém místě, aby nebylo pokud možno ovlivněno v zimě

průvanem a ani v přechodném období tepelnými zisky od sluneční radiace. Na druhé straně by mělo být v oblasti jádrového sálání námi zvoleného referenčního zářiče. Čidla se doporučují pro oblasti u vnějších vrat, kvůli rychlejší reakci na teplotu vzduchu a jinak čidla reagující na změnu výsledné teploty. Rozdělení zářičů do zón vyplyne přímo z požadavků na dodávku tepla do jednotlivých částí objektu (investor, tepelná ztráta), proto je při návrhu třeba **se zajímat o provoz (počet směn) a požadavky na odstavování jednotlivých pracovišť**. Za provozu je možné podle vytížení pracovní plochy i ručně odstavovat jednotlivé zářiče, avšak kromě referenčního. Kvůli tomu je třeba si jeho volbu dobře rozmyslet. Referenční zářič odstavíme pouze úplným vypnutím celé zóny. U některých typů zářičů je také možné využít třípolohovou regulaci, která kromě stavů zapnuto - vypnuto umožňuje nastavit například poloviční výkon. Otázkou však zůstává, jak klesne v tomto případě účinnost zářiče a jak případně stoupne produkce NO_x a CO₂? Tyto hodnoty zatím bohužel nejsou k dispozici.

13.4.7 Rozvod plynu

Rozvody plynu musí být dimenzovány s ohledem na zapojení do jednotlivých sekcí. Při náběhu jedné celé sekce musí být nárazově k dispozici velké množství tlaku a větvené potrubí by tak nemuselo stačit. Proto se doporučuje v takových případech **uvažovat o zapojení do rámu**. Tím se nebezpečí nedostatku tlaku plynu minimalizuje. Dále musíme uvažovat i způsob provozování. Když se například majitel rozhodne provozovat pouze jednu loď trojlodní výrobní haly a ostatní pronajímat, vyplatí se lodě od sebe funkčně oddělit (regulace i plyn) a do každé instalovat samostatný plynoměr.

13.4.8 Větrání

V souvislosti s provozem se velmi často zapomíná na zajištění přívodu čerstvého a větracího vzduchu do pracovní oblasti. Musíme si uvědomit, že u světlých zářičů probíhá otevřené spalování, které spotřebovává kyslík z prostoru místnosti a produkuje spaliny. Zároveň u tmavých zářičů bývá běžnější nasávat spalovací vzduch přímo z místnosti. Takto vznikající úbytek vzduchu je minimálně nutné nějakým způsobem nahradit, ideálně instalovat samostatné větrací zařízení. U světlých zářičů se vždy instaluje odtahový ventilátor do nejvyššího místa haly, kde se hromadí spaliny. Provozem ventilátoru je podmíněn i chod celé příslušející sekce zářičů. Přívod větracího vzduchu do objektu se předpokládá infiltrací netěsnostmi v plášti objektu. Podle současné evropské normy EN 13410 postačí pro provoz zářičů odvádět 10 m³/h vzduchu na jednu instalovanou kilowatu. Vždy je také třeba kontrolovat i minimální hygienický průtok vnějšího vzduchu podle nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanovují podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. Se zlepšující se tepelnou izolací halových objektů totiž stoupá i těsnost těchto objektů a přívod vzduchu infiltrací přestává stačit. **Návrh větracího zařízení se tak musí stát nedílnou součástí projektu vytápění pomocí plynových zářičů!**

14. Použitá literatura

1. Bašta, J., Drkal, F., Kotrbatý, M.: Vytápění – sálavé a teplovzdušné vytápění průmyslových a občanských staveb. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 1998. – 220 s. ISBN 80-02-01240-2
2. Bašta, J.: Otopné plochy. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2001. – 328 s. ISBN 80-01-02365-6.
3. Bašta, J. a kol.: Výkresová dokumentace ve vytápění – sešit projektanta. Druhé přepracované vydání. STP 2001, ISBN 80-02-01465-0, 54 s.
4. Bašta, J. a kol.: Úprava vody pro otopné soustavy. STP Praha 2002. ISBN 80-02-01493-6.
5. Zmrhal, V.: Sálavé chladicí systémy. Ediční středisko ČVUT, 2009. – 217 s. – ISBN 978-80-01-04318-9.
6. Bašta, J.: Regulace otopných soustav. Doporučený standard technický. ČKAIT. Praha 2003. s. 18, ISBN 80-86364-89-5.
7. Bašta, J.: Hydraulika a řízení otopných soustav. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2003. – 252 s., 209 obr., ISBN 80-01-02808-9.
8. Bašta, J., Kabele, K.: Otopné soustavy teplovodní – sešit projektanta. Třetí přepracované vydání. STP 2008, ISBN 978-80-02-02064-6, 96 s.
9. Petráš, D. a kol.: Vytápění rodinných a bytových domů. 246 s. Vydavatelství Jaga group s.r.o., Bratislava 2005. ISBN 80-8076-020-9.
10. Hojer, O., Bašta, J.: Návrh vytápění velkoprostorových objektů světlymi plynovými zářiči s využitím počítačové simulace. In: Stavební ročenka 2008. Bratislava: JAGA GROUP, s.r.o., 2008, s. 133-136. ISBN 80-8076-056-4.
11. Hojer, O., Bašta, J., Hensen, J.: Design optimization study for infrared heater by CFD sensitivity analysis. Conference proceedings Roomvent 2007. 2007 Helsinki. ISBN 978-952-99898-0-5
12. Hojer, O., Bašta, J., Hensen, J.: Optimization of gas infrared heater's radiation geometry. 3rd Symposium Building Performance Simulation. Eindhoven. May 2007. ISBN 978-80-01-03796-6
13. Hojer, O., Bašta, J., Hensen, J.: On the relation between shape and downward radiation of overhead radiant heaters. In: Congress Vilamoura. Portugalsko 03/2008.
14. Hojer, O., Bašta, J., Hensen, J.: *General overview of medium intensity gas infrared heaters' radiation geometry optimization.* 4th Symposium Building Performance Simulation. Praha. Květen 2008.
15. Bašta, J.: Velkoplošné vytápění - díl I, II, III a IV (26.6, 28.6., 3.7. a 7.7.2006) In: <http://www.tzb-info.cz>, internetový časopis oborů vytápění, vzduchotechnika, instalace, úspory energie.
16. Bašta, J.: Podlahové vytápění - díl I, II a III (24.7., 31.7. a 7.8. 2006) In: <http://www.tzb-info.cz>, internetový časopis oborů vytápění, vzduchotechnika, instalace, úspory energie.
17. Bašta, J.: Regulace výkonu podlahové otopné plochy. In: VVI, 2006, roč. 15, č. 4, s. 165-168. ISSN 1210-1389.
18. Kotrbatý, M.; Hojer, O.; Kovářová, Z.: Hospodaření teplem v průmyslu. Nejlevnější energie je energie ušetřená. ČSTZ 2009. ISBN 978-80-86028-41-5. Příbram 2009. str. 266
19. Petráš, D., M. Kotrbatý, a kolektiv: Vytápění velkoprostorových a halových objektů. ed. 2006, Bratislava: JAGA GROUP, s.r.o. 205. ISBN 80-8076-040-3
20. Hojer, O.: Metodika návrhu plynových zářičů. VVI - Vytápění Větrání Instalace, 2005. 14(4): p. 171-172.
21. Hojer, O.: Metodika navrhování světlymi plynových zářičů. Směrnice STP – OS 2 / č. 2/2009. Příloha časopisu VVI 3/2009. STP 2009.