

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Strojní fakulta

Pavel Barna

**ALTERNATIVNÍ ZDROJ TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ
ALTERNATIVE HEAT SOURCE FOR HEATING**

Diplomová práce KTE-DP-98/1

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra: Termomechaniky

Školní rok: 1997/1998

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro Pavla Barnu

Obor Tepelná technika

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: ALTERNATIVNÍ ZDROJ TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ

Zásady pro vypracování:

1. Stanovení variant druhů vytápění (uhlí, plyn, LTO) v místě využitelné biomasy
2. Návrh limitů pro technologii kotelny (výkon, emise, hlučnost atp.)
3. Návrh požadavků na technologii úprav a skladování biomasy, limity emisí, hlučnosti atp.
4. Dispoziční požadavky na řešení zázemí pro skladování a přípravu biomasy
5. Požadavky na MaR se zajištěním součinnosti se stávající plynovou technologií
6. Souhrnné požadavky na optimální součinnost obou zdrojů tepla
7. Požadavky na propojení teplovodních okruhů, požadavky na napojení na síť
8. Limit počtu a kvalifikace pracovníků obsluhy, zázemí atp.
9. Propočet nákladů + „slepý“ položkový rozpočet, profesní objemy + dodávka a montáž technologie
10. Ekonomické parametry + doba návratnosti stavby a zařízení
11. Souhrn požadavků dle obecně platných zákonů, ČSN atp.

Rozsah grafických prací: 10

Rozsah průvodní zprávy: 40

Seznam odborné literatury:

1. Cihelka, J.: Vytápění a větrání, SNTL Praha
2. Janeba, B.-Karták, J.: Tepelné výpočty kotlů a parních generátorů, ČVUT Praha
3. ZTV ACADEMIA Praha, (časopisy)
4. Teplo, ČVTS Praha (časopisy)
5. Dvořák, L.: Zdroje a přeměny energie, ČVUT Praha

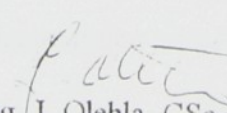
Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Josef Olehla, CSc.

Konzultant:

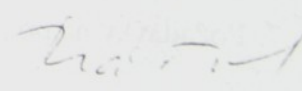
Zadání diplomové práce: 31. 10. 1997

Termín odevzdání diplomové práce: 22. 5. 1998

L.S.


Doc. Ing. J. Olehla, CSc.
Vedoucí katedry




Doc. Ing. L. Prášil, CSc.
Děkan

V Liberci dne 31. 10. 1997

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Strojní fakulta

ANOTACE

Alternativní zdroj tepla pro vytápění

Cílem této diplomové práce je specifikovat základní technické prostředky, umožňující efektivně využít slámy obilovin jako paliva pro výrobu tepla, stanovit podmínky, za kterých bude využití navržených technických prostředků a celého energetického systému ekonomicky výhodné, zhodnotit ekologické účinky spalování slámy. Tím ukázat na konkrétním příkladu reálnost výstavby kotelny na spalování slámy za současných ekonomických podmínek.

Alternative heat source for heating

The aim of this diploma thesis is to specify basic technical means enabling effective use of cereal straw as a fuel for the production of heat, to specify conditions under which the use of the proposed technical means and the whole energetic system will be economically advantageous, to evaluate ecological impact of the straw combustion and by this to show, on the concrete example, the real possibility of building a boiler room of such type under the current conditions.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Strojní fakulta

MÍSTOPŘÍSAŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci dne 21.5.1998

Podpis:

Paul Bauer

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Strojní fakulta

PROHLÁŠENÍ

Souhlasím, aby moje diplomová práce byla podle směrnice uveřejněna v Pokynech a informacích TU Liberec, zapůjčena nebo odprodána za účelem využití jejího obsahu.

Souhlasím, aby po pěti letech byla diplomová práce vrácena na níže uvedenou adresu.

Adresa : Pavel Barna

Vlčí vrch 176

Liberec 15

460 15

Podpis:

Pavel Barna

OBSAH

1. ÚVOD.....	1
1.1 Předmět řešení.....	1
2. ZDROJE BIOMASY A JEJÍ ENERGETICKÉ VYUŽITÍ.....	2
2.1 Co je biomasa.....	2
2.2 Limity využití biomasy pro energetické účely:.....	3
2.3 Výhody využití biomasy k energetickým účelům:.....	3
2.4 Biomasa využitelná k energetickým účelům	3
2.5 Způsoby využití biomasy k energetickým účelům.....	4
2.6 Vlastnosti dřeva a slámy	7
2.6.1 Dřevo	7
2.6.2 Sláma.....	8
3. STANOVENÍ VARIANT DRUHŮ VYTÁPĚNÍ	8
3.1 Stanovení připojeného tepelného výkonu.....	8
3.2 Tepelná bilance a spotřeba tepla	9
3.3 Varianty paliv.....	10
3.4 Náklady na přípravu 1t slámy	11
3.5 Volba paliva pro kotelnu	11
4. NÁVRH LIMITŮ PRO TECHNOLOGII KOTELNY	12
4.1 Základní požadavky na zařízení pro spalování slámy:.....	12
4.1 Popis zařízení.....	12
4.1.1 Kotelna	12
4.1.2 Kotel.....	14
4.1.3 Zabezpečovací zařízení.....	14
4.1.4 Vytápění a větrání kotelny	15
4.1.5 Komín a odlučovač.....	15
5. POSOUZENÍ KOMÍNA PODLE ZNEČIŠŤOVÁNÍ OVZDUŠÍ.....	16
5.1 Emise.....	16
5.2 Základní údaje.....	17
5.3 Výpočet znečišťování ovzduší:	18
6. VÝPOČET OČEKÁVANÝCH IMISNÍCH KONCENTRACÍ ŠKODLIVIN.....	22
7. HLUK	23
7.1 Zdroje hluku.....	23
7.1.1 Čerpadla.....	23
7.1.2 Potrubí a armatury	24
7.1.3 Kotel.....	24
8. PŘÍPRAVA PALIVA Z BIOMASY KE SPALOVÁNÍ	25
8.1 Sklizeň, úprava a skladování slámy	25
8.2 Produkty úpravy slámy.....	25
8.2.1 Obří balíky	26
8.3 Sklad slámy	26
9. REGULACE.....	27

9.1 Základy regulace.....	27
9.2 Princip regulace	28
9.3 Regulační okruhy	29
10. PROPOJENÍ TEPLOVODNÍCH OKRUHŮ.....	30
10.1 Popis řešení	30
11. KVALIFIKACE PRACOVNÍKŮ OBSLUHY.....	31
11.1 Základní podmínky.....	31
11.2 Povinnosti obsluhy	32
12. EKONOMICKÉ PARAMETRY	32
12.1 Investiční náklady.....	32
12.2 Výpočet zisku	35
13. SOUHRN ZÁKONŮ, ČSN	38
14. ZÁVĚR.....	39
15. POUŽITÁ OZNAČENÍ.....	41
16. SEZNAM LITERATURY.....	44
17. VÝKRESY	
ZK1 Zařízení kotelny - půdorys	
ZK2 Dopravní cesty - schéma	
ZK3 Propojení teplovodních okruhů - schéma	
ZK4 Rozmístění budov - půdorys	
18. PŘÍLOHY	
Č.1 TAB.2.1: Zdroje energeticky využitelné biomasy v ČR	
OBR.1.1: Rozdělení druhů biomasy	
Č.2 TAB.2.1: Biomasa využitelná k nergetickým účelům	
Č.3 TAB.3.1: Přehled požadovaných výkonů zemědělské farmy	
TAB.3.2 :Přehled odběrů tepla areálu zemědělské farmy	
Č.4 TAB.2.5: Technická charakteristika slámy jako paliva	
TAB.2.4: Množství dřeva ke stejnému tepelnému výkonu	
Č.5 Výpočet větrání kotelny	
Č.6 OBR.8.1: Systémy sklizně a úpravy energetických stéblovin	
OBR.8.2: Technologické schéma zpracování slámy do topeniště	
Č.7 Výpočet komína	
Č.8 Posouzení komína podle půlhodinové koncentrace	

1. Úvod

Výroba tepelné energie v současných klimatických podmínkách je jednou z činností nezbytných pro přežití lidstva. Standardem současné produkce tepelné energie je spalování neobnovitelných fosilních paliv, kterému je přizpůsobeno jak zařízení pro spalování, tak i úprava a skladování paliv. Stále narůstajícím problémem lidstva je otázka vyčerpání dostupných zásob těchto paliv a zejména pak to, že tato paliva jsou v podstatě nenahraditelnou výchozí surovinou pro chemický průmysl, se kterou se při výrobě tepla nezodpovědně plýtvá. Řešením do budoucnosti je tato paliva ušetřit jako surovinu pro chemický průmysl a výrobu tepelné energie zajistit jinak a to zejména z oblasti obnovitelných zdrojů. Mezi obnovitelné zdroje energie v našich klimatických podmínkách lze považovat především dřevní hmotu a vedlejší produkty rostlinné výroby.

1.1 Předmět řešení

Zemědělská farma, současné doby mění strukturu své hospodářské činnosti, což představuje potřebu vystavět nové hospodářské objekty (skleníky, sušárna obilí). Vzniká otázka jak nové hospodářské objekty vytápět, jestliže výkon stávající plynové kotelny, která zásobuje teplem stávající objekty farmy je nedostačující a vzhledem k uvedenému budeme chtít využít ekologicky příznivé obnovitelné zdroje energie.

Předmětem řešení diplomové práce je návrh a posouzení výstavby zdroje tepla na spalování obnovitelného paliva,, který by měl zajišťovat tepelnou energii pro vytápění hospodářských objektů (skleníky, sušárna) zemědělské farmy a navrhnout připojení tohoto zdroje na stávající zdroj a otopnou soustavu.

2. Zdroje biomasy a její energetické využití

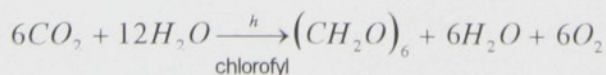
2.1 Co je biomasa

Biomasa je definována jako substance biologického původu vzniklé pěstováním rostlin v půdě nebo ve vodě, chovem živočichů nebo produkcí organického původu a organické odpady). Biomasa je buď záměrně získávána jako výsledek výrobní činnosti, nebo se jedná o využití odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z komunálního hospodářství, z údržby a péče o krajinu.

2.2 Základní podmínky vzniku biomasy

K zachování dynamické rovnováhy v biosféře má nezastupitelnou úlohu živá biomasa. Biochemické reakce zabezpečují trvalý oběh biogenních prvků a transformují sluneční energii na chemickou energii, která se využívá jako energetický zdroj pro všechny biochemické procesy. Hlavní úlohu má fotosyntéza a fotochemické reakce.

Při fotosyntéze vzniká z oxidu uhličitého a vody za spolupůsobení enzymů, chlorofylu a světelné energie velké množství organických látek. Při fotochemických reakcích se redukuje oxid uhličitý na cukry a voda se oxiduje za vzniku molekulového kyslíku. I když je mechanismus fotosyntézy složitější, je možné tuto biochemickou reakci za účasti světelné energie a chlorofylu schématicky znázornit následovně:



oxid uhličitý + voda $\xrightarrow{\text{chlorofyl}}$ cukr + voda + kyslík

Fotosyntéza je základní proces v přírodě, který zabezpečuje vazbu sluneční energie, vody a oxidu uhličitého za vzniku složitých organických látek. Je to nejdůležitější a svým rozsahem převládající

chemická reakce na světě, zdroj kyslíku a chemické energie, bez které by byl život na naší planetě nemožný.

2.3 Limity využití biomasy pro energetické účely

- Produkce biomasy pro energetické účely konkuruje dalším způsobům využití biomasy (např. k potravinářským a krmivářským účelům, zajištění surovin pro průmyslové účely).
- Zvyšování produkce biomasy vyžaduje rozšiřovat produkční plochy nebo zvyšovat intenzitu výroby biomasy, což s sebou nese potřebu zvyšovat kapitálové vklady do výroby biomasy.
- Získání energie z biomasy v současných podmínkách s obtížemi ekonomicky konkuruje využití klasických energetických zdrojů. Tato skutečnost může být postupně měněna tlakem ekologické legislativy.

2.4 Výhody využití biomasy k energetickým účelům

- Jsou menší energetické dopady na životní prostředí
- Zdroj energie má obnovitelný charakter
- Jde o tuzemský zdroj energie, snižuje se spotřeba dovážených energetických zdrojů
- Zdroje biomasy nejsou lokálně omezeny
- Řízená produkce biomasy přispívá k vytváření krajiny a péči o ni.

2.5 Biomasa využitelná k energetickým účelům

Pro získávání energie se využívá:

- a) **Biomasa záměrně pěstovaná k tomuto účelu:** cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina (pro výrobu ethylalkoholu), olejniny

(z nich je nejvýznamnější je řepka olejná pro výrobu surových olejů a metylesterů), energetické dřeviny pro spalování (vrby, topoly, olše a další stromové a keřinové dřeviny)

b) Biomasa odpadní:

- Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny: kukuřičná a obilná sláma, řepková sláma, zbytky z lučních a pastevních areálů, atd.
- Odpady ze živočišné výroby: exkrementy z chovu hospodářských zvířat, zbytky krmiv, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit.
- Komunální organické odpady z venkovských sídel: kaly z odpadních vod, organický podíl tuhých komunálních odpadů, atd.
- Lesní odpady: Dřevní hmota z lesních probírek, kůra, větve, pařezy, kořeny po těžbě dřeva, palivové dřevo, manipulační odřezky, klest.

2.6 Způsoby využití biomasy k energetickým účelům

Způsob využití biomasy k energetickým účelům je do značné míry předurčen fyzikálními a chemickými vlastnostmi biomasy. Velmi důležitým parametrem je vlhkost, resp. obsah sušiny v biomase-obr. 2.1. Hodnota 50% sušiny je přibližná hranice mezi mokkými procesy (obsah sušiny je menší než 50%) a suchými procesy (obsah sušiny je větší než 50%). Z principiálního hlediska lze rozlišit několik způsobů získávání energie z biomasy:

a) Termochemická přeměna paliva (suché procesy pro energetické využití biomasy)

- **Spalování:** spalovací proces dřeva probíhá v následujících čtyřech fázích:

- 1) fáze sušení, odpařování vody z paliva
- 2) fáze pyrolýzy, uvolňování plynné složky paliva
- 3) fáze spalování plynné složky paliva
- 4) fáze spalování pevných látek, zejména uhlíku

Při zahřívání dříví dochází nejprve k odpařování vody. Poté se dodávaným teplem uvolňuje spalitelný plynný podíl paliva. Po dosažení zápalné teploty a při dostatečném přísunu kyslíku dojde ke vznícení plynu a následnému uvolňování spalného tepla. Vzniklé teplo může dále snížit vlhkost zbytků dřeva a uvolnit další spalitelný plyn. Spalovací proces se udržuje, pokud není dříví příliš vlhké a je-li přiváděn dostatek kyslíku. Uhlík zůstává v pevné formě na roštu, povrchově se okysličuje na oxid uhelnatý (CO), který při dodání dalšího kyslíku oxiduje na oxid uhličitý (CO_2). Při rovnoměrném dodávání paliva a dostatečném přívodu kyslíku probíhají všechny čtyři fáze spalovacího procesu současně a teplo se vytváří rovnoměrně.

- **Zplyňování:** pro zplyňování je nejvhodnější palivové či odpadní dřevo, případně sláma. Rozklad biomasy na plynné palivo je možný různými způsoby. Většinou se dřevo zplyňuje za přístupu vzduchu.

- **Pyrolýza:** termický rozklad organických látek na nízkomolekulární sloučeniny, které se pak mohou využívat k syntézním výrobám nebo jako topný olej, popř. topný plyn. Podle druhu zpracovávaného materiálu a požadovaných produktů se pyrolýza provádí při atmosférickém, zvyšovaném nebo i snižovaném tlaku za vysokých nebo nízkých teplot.

a) **Biochemická přeměna biomasy** (mokrý procesy pro energetické využití biomasy)

- **Etanolové kvašení:** proces se uskutečňuje pomocí kvasinek nebo bakterií, přičemž hmotnost materiálu se v jeho průběhu

zmenšuje na polovinu. Jako suroviny pro výrobu ethanolu lze použít jakékoliv rostlinné výrobky, které obsahují škrob, cukry a buničinu.

- **Metanové kvašení:** zpracování organických látek se současným vznikem bioplynu se nazývá anaerobní fermentace, nebo-li metanogenní kvašení (je to vlastně vyhnívání, rozklad).

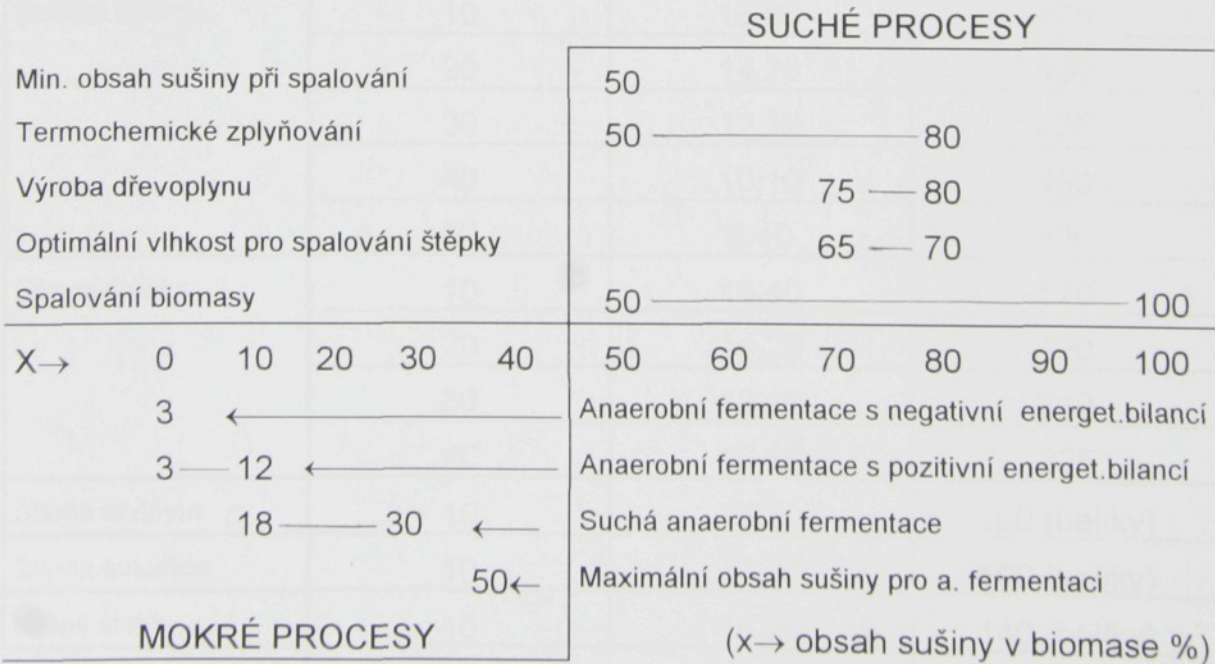
b) Fyzikální a chemická přeměna biomasy:

- Mechanicky (štípání, drcení, lisování, briketování, mletí apod.)
- Chemicky (esterifikace surových bioolejů): výroba binafty

c) Získání odpadního tepla při zpracování biomasy (např. při kompostování, čištění odpadních vod apod.)

Přestože existuje více způsobů využití biomasy k energetickým účelům, v praxi převládá ze suchých procesů spalování biomasy, z mokrých procesů výroba plynu anaerobní fregmentací. Vhodnost jednotlivých druhů biomasy pro různé způsoby energetického využití uvádí tab.č.2.1-příloha č.2.

Obr.2.1: Vliv vlhkosti (obsahu sušiny) na způsob zpracování biomasy



2.7 Vlastnosti dřeva a slámy

2.7.1 Dřevo

Dřevo pro spalování může mít mnoho forem, nejběžnější jsou však polena a štěpka. Další doplňkové formy jsou piliny a brikety. Pro použití na trhu palivového dřeva však z 96 (%) připadají v úvahu polena a štěpka. Vliv vlhkosti paliva z biomasy na jeho výhřevnost a měrnou hmotnost udává tab.:2.3. Vlhkost dřeva pro spalování je velmi důležitá. V tab.: 2.4,příloha č.4 je procentuální vyjádření množství různě vlhkého dřeva na stejný tepelný výkon. Vzrůst obsahu vody ve dřevě z 20 na 40 (%) podmiňuje vyšší spotřebu paliva bezmála o polovinu. Závislost je tudíž progresivní, část dřevní hmoty se spotřebuje na pouhé odpaření vody bez efektu. Proto je zapotřebí dbát na vhodné uskladnění.

Tab.2.3: Vliv vlhkosti paliva z biomasy na výhřevnost a měrnou hmotnost

Druh paliva	Obsah vody (%)	Výhřevnost (MJ.kg ⁻¹)	Objemová hmotnost (kg.m ⁻³)
Polena (měkké dřevo)	0	18,56	355
	10	16,40	375
	20	14,28	400
	30	12,18	425
	40	10,10	450
	50	8,10	530
Dřevní štěpka	10	16,40	170
	20	14,28	190
	30	12,18	210
	40	10,10	225
Sláma obilovin	10	15,50	160 (balíky)
Sláma kukuřice	10	14,40	100 (balíky)
Lněné stonky	10	16,90	140 (balíky)
Sláma řepky	10	16,00	100 (balíky)

2.7.2 Sláma

Sláma řepky, obilovin a kukuřice (biomasa) je stále se obnovující surovina s mnohostranným využitím. Objem její výroby ve státech střední Evropy přesahuje objem těžby dřeva. Většinou je hodnocena jako odpad hlavního výrobního produktu, jehož hodnota je tvořena jenom dopravními náklady.

V České republice se většina slámy po sklizni skladuje v polních stozích, kde dochází k značnému znehodnocení, které se odhaduje na 20 - 25 (%). Kromě toho se část stohů ani nezpracovává a jejich zbytky se likvidují velmi obtížně. Slámy se v České republice využívá zejména k podestýlce ve stájích (70% roční produkce), v menší míře ke krmení zvířat (20%) a v průmyslu. Řepková sláma se nedá využívat k podestýlání ani ke krmení hospodářských zvířat. Pro výrobu tepla se v České republice ve větší míře sláma prakticky nevyužívá.

Optimální je sklízet slámu o vlhkosti 14 (%). Zejména balíky všech forem je nutné uskladnit v kryté skládce s odvětranou podlahou. Ze zkušeností s lisováním slámy o vyšší vlhkosti vyplývá pouze to, že velkoobjemové balíky (ale i malé hranaté) již na skládce nelze vysušit. Technické charakteristiky slámy upravené pro spalování jsou uvedeny v tab.:2.5, příloha č.4.

3. Stanovení variant druhů vytápění

3.1 Stanovení připojeného tepelného výkonu

V areálu zemědělské farmy jenž byla částečně popsána v kapitole 1.1 se nacházejí objekty převážně hospodářského a administrativního charakteru. Tyto objekty jsou vystavěny klasickou technologií a jejich vytápění a ohřev teplé užitkové vody zajišťuje plynová kotelna o jmenovitém výkonu 160 kW. Tato kotelna se nachází v přízemí jednoho z objektů. V současné době je uvažováno

s výstavbou skleníkového areálu a sušičky obilí. Tyto nové objekty bude zapotřebí taktéž vytápět.

Na základě tepelné bilance (kapitola 3.2) je jako zdroj tepla pro zemědělskou farmu navržena kotelna o jmenovitém výkonu 600 KW. Tento výkon je postačující vzhledem k nesoučasnému odběru tepla jednotlivých spotřeb (tab.:3.2, příloha č.5) a využitím plynové kotelny jako náhradní a špičkový zdroj tepla. Budoucí kotelna nebude součástí stávající plynové kotelny, a to z důvodu nedostatečné podlahové plochy plynové kotelny. Aby byla zaručena funkčnost a spolehlivost celého systému a vzájemná součinnost obou zdrojů tepla bude nutné zajistit propojení teplovodních okruhů.

3.2 Tepelná bilance a spotřeba tepla

Jako výchozí byly vzaty údaje ze „ Studie využití tepla z JE Temelín pro zemědělství“ a „ Studie vytápění skleníkového areálu Dětmárovice“ kde byly tepelné ztráty zemědělských objektů stanoveny výpočtem podle ČSN 060210 pro oblastní výpočtovou teplotu -15°C.

Tepelná bilance

• Prostorového vytápění stávajících objektů.....	100 kW
• Ohřev TUV stávajících objektů.....	55 kW
• Prostorového vytápění skleníků.....	500 kW
• Teplovzdušné vytápění sušárny.....	600 kW
• Ohřev TUV pro budoucí technologii.....	90 kW
<u>CELKEM:</u>	<u>1345 kW</u>

Teoretická spotřeba tepla

- Prostorového vytápění stávajících objektů.....654 GJ/r
 - Ohřev TUV stávajících objektů.....216 GJ/r
 - Prostorového vytápění skleníků.....2560 GJ/r
 - Teplovzdušné vytápění sušárny.....560 GJ/r
 - Ohřev TUV pro budoucí technologii.....570 GJ/r
- CELKEM:.....4560 GJ/r

3.3 Varianty paliv

Pro uvažovaný zdroj tepla v připadají úvahu čtyři druhy paliva. Jedna se o:

- 1) Uhlí; 2) Zemní plyn; 3) Nízkosirný topný olej; 4) Biomasu

Tab.3.3: Náklady na palivo. Náklady jsou vztaženy na uvedenou roční spotřebu v cenové relaci roku 1998.

Druh paliva	Účinnost systému	Roční spotřeba paliva	Výhřevnost paliva	Cena ve skutečných jednotkách	Vztažená cena na výhřevnost	Roční náklady na vytápění
Hnědé uhlí	70%	349805 kg	16,5 MJ/kg	1,07 Kč/kg	65 Kč/GJ	422441,- Kč/r
Zemní plyn	90%	151244 m ³	33,5 MJ/m ³	4,3 Kč/m ³	129 Kč/GJ	650350,- Kč/r
NLTO ³	90%	120635 kg	42,0 MJ/kg	9,2 Kč/kg	219 Kč/GJ	1109842,- Kč/r
Dřevo palivové ¹	80%	401408 kg	14,2 MJ/kg	0,70 Kč/kg	49,3 Kč/GJ	280985,- Kč/r
Sláma obilovin ²	84%	350231 kg	15,5 MJ/kg	0,80 Kč/kg	51,6 Kč/GJ	280185,- Kč/r

¹⁾ Střední hodnota při obsahu vody 20%

²⁾ Střední hodnota při obsahu vody 10%

³⁾ Cena po vrácení spotřební daně

3.4 Náklady na přípravu 1t slámy

• sklizeň, lisování obřích balíků, doprava ke skladu.....	590,- Kč/t
• naskladnění jeřábem.....	20,- Kč/t
• skladování s provětráváním.....	120,-Kč/t
• vyskladnění a doprava k místu spalování.....	70,-Kč/t
NÁKLADY CELKEM.....	800,-Kč/t

3.5 Volba paliva pro kotelnu

Tab.3.3 ukazuje, že při současných cenách paliv je biomasa nejlevnější palivo, za předpokladu vlastní produkce a nízkého obsahu vody. Z hlediska ceny paliva a dostupnosti bude biomasa, v tomto případě sláma, nejvhodnější palivo pro vytápění zemědělské farmy. Tato situace není již tak jednoznačná z hlediska náročnosti technologie a investičních prostředků, jak bude uvedeno dále.

Se zemním plynem, není uvažováno, vzhledem k předpokládané nízké kapacitě nízkotlaké plynové přípojky. Spalování hnědého uhlí by nadměrně zatížilo okolní krajinu emisemi škodlivin. Dalším možným palivem pro navrhovanou kotelnu je nízkosirný topný olej. Je to palivo mnohem dražší než sláma, avšak technologie je výrazně levnější.

Níže budeme tedy uvažovat slámu jako palivo pro naši kotelnu a technologií spalování nízkosirného topného oleje za konkurenční variantu.

4. Návrh limitů pro technologii kotelny

4.1 Základní požadavky na zařízení pro spalování slámy

- jednoduchá obsluha, snadné přikládání paliva, bezpečné přidávání paliva bez zpětných zápalů a explozí, snadné odstraňování popele, snadná údržba
- vysoká účinnost spalování
- vysoká kvalita spalování s minimálním obsahem škodlivých emisí ve spalinách (CO , NO_x) s dokonalým prohořením spalných plynů a dostatečnou dobu styku horkých spalin s teplosměnnými plochami
- vysoký rozsah regulovatelnosti výkonu při zachování kvality hoření
- dostatečně dlouhá životnost zařízení mezi generálními opravami
- dokonalé přizpůsobení zvolenému palivu

Zařízení pro spalování biomasy se třídí podle dvou základních hledisek:

- 1) podle způsobu přidávání paliva: na dávkové a plynulé
- 2) podle druhu a tvaru paliva

4.1 Popis zařízení

4.1.1 Kotelna

Poloha kotelny má být volena tak, aby se zabránilo nedovolenému obtěžování okolí hlukem, otřesy a chvěním. Nízkotlaká kotelna o výkonu menším než 3,5 MW na tuhá a kapalná paliva může být umístěna na i pod terénem, bude-li zaručeno řádné větrání kotelny a přívod spalovacího vzduchu.

Předpisy nespecifikují závazně minimální plošné rozměry nebo min. obestavěný prostor kotelny. Usuzujeme, že bezpečnost provozu si vyžaduje dodržení minimálních rozměrů.

- velikost kotelny by měla být volena tak, aby kotle mohly být řádně obsluhovány ze všech stran, kde se nacházejí obslužná místa (čištění, regulace)
- mělo by být pamatováno i na dostatečnou údržbu a větší opravy kotlů, které nejsou u nízkotlakých kotelen řídké
- vzdálenost mezi čelem kotle na tuhá paliva s pevným roštem a stěnou kotelny by neměla být menší než $(L+0,6)$ metrů, kde L je délka roštu kotle (m)
- mezi zadní stěnou kotle a sopouchy, ev. zadní stěnou kotelny, by neměla být vzdálenost menší než $1/2$ minimální vzdálenosti před čelem kotle
- již v projektu je nutno zvážit možnost generální opravy strojního zařízení po letech provozu. Je nutno vyřešit dopravní cesty a montážní otvory nejen v době montáže, ale i po letech provozu pro provedení GO kotelny
- minimální průchod podél boku kotlů požaduje vyhláška 24/1984 a 25/1984 min. 60 cm. Doporučujeme však volit tuto odlehlost nejméně 100 cm
- světlá výška kotelny by neměla být menší než 3 m s ohledem na instalaci technologie

Pro náš příklad postavíme novou kotelnu o délce 12 m, šířce 6 m a výšce 5 m. Kotelna bude vystavěna klasickou technologií. Bude umístěna vedle stávající hospodářské budovy s kterou bude mít společnou jednu stěnu, viz výkres ZK1 a ZK4.

4.1.2 Kotel

Na základě tepelné bilance je jako zdroj tepla navržen kotel na spalování slámy o jmenovitém výkonu 600 kW od firmy VERNER. Tato firma je přední tuzemským výrobcem kotlů na spalování biomasy. Uspořádání kotelny je patrné z výkresu ZK1. Samotný kotel je sestaven z vodou chlazeného hořáku (1), dohořivací komory (2) a výměníku (3). K podávání paliva do kotle slouží podávací šnek (4), který je opatřen protipožární ochranou proti proniknutí ohně do sila (5). V samotném hořáku (1) je palivo posunováno podavačem a spalovací vzduch je dopravován ventilátorem. Zapalování kotle se děje automaticky, pomocí odporového článku. Odpopelnění je řešeno pomocí šneku s vyústěním v přistavené popelnici (16).

Vzhledem k tomu, že hořák na spalování slámy je ocelový svařenec, doporučujeme hlídat teplotu vratné vody a tím zamezit nízkoteplotní korozi, která vzniká při teplotě nižší než 70°C. Toho lze dosáhnout dvěma způsoby. Instalací termoregulačního ventilu (23) do zpětného potrubí, nebo pomocí regulace zamezení odběru tepla při najíždění kotelny ze studeného stavu, než dosáhne teplota výstupní vody a tedy i vratné vody hodnotu $>70^{\circ}\text{C}$.

Kotel prostřednictvím oběhového čerpadla okruhu chlazení hořáku (26) a okruhu výměníku (27) je napojen na hydraulický vyrovnávač dynamických tlaků (12).

4.1.3 Zabezpečovací zařízení

Dle ČSN 06 0830 je nutné uzavřený topný systém zajistit proti nedovolenému přetlaku pojistným ventilem a expanzní nádobou (13). Na výstupním potrubí z kotle je nutné osadit pojistný ventil. Umístění pojistného zařízení je patrné z výkresu ZK1 a ZK3.

4.1.4 Vytápění a větrání kotelny

Při vytápění prostoru kotelny uvažujeme tepelné zisky od kotlů, zařízení a rozvodů. Větrání kotelny a přívod vzduchu pro spalování je potřebné zabezpečit přirozeným způsobem pomocí větracího otvoru umístěného v obvodovém plášti kotelny u podlahy kotelny a ventilačním otvorem v protilehlé části kotelny u stropu kotelny. Umístění otvorů zajistí příčné provětrání prostoru. Výpočet větrání kotelny pro zimní a letní provoz je uveden v příloze č.3. Z výpočtu vyplývá, že v případě provozu kotelny v letním období, je větrací a ventilační otvor, který byl navržen pro zimní provoz, nedostačující a je nutné zřídit doplňkové otvory. Tyto doplňkové otvory budou po dobu zimních měsíců uzavřeny.

4.1.5 Komín a odlučovač

Schéma kouřové cesty je vyobrazeno na výkrese ZK2. Spaliny z kotle jsou odváděny pomocí spalínového ventilátoru (9) kouřovodem přes odstředivý odlučovač popílku (8) do komínu (10). Za spalínový ventilátor (9) je potřebné umístit regulační klapku (24) a pod odstředivý odlučovač (8) turniket (7) a následně popelnici (16). Odstředivý odlučovač slouží k odpopílkování a jeho účinnost se pohybuje kolem 90%. Spalínový ventilátor je nutné použít proto, že tlaková ztráta odstředivého odlučovače (1000 Pa) je tak velká, že ji nelze pokrýt přirozeným tahem komína. Komín bude následným výpočtem navržen tak, aby v celé výšce komínového průduchu byl podtlak a komín nebyl přetlakovým tělesem. K škrcení výkonu ventilátorů je navržena regulační klapka (24). Komínové těleso je navrženo z nerezového plechu a komín izolován minerální plstí i když pro teploty do +400 °C při spalování tuhých paliv lze použít normální plně ostře pálené cihly. Komín je osazen na konzole, cca 2000 mm nad podlahou a to z důvodu napojení na odstředivý odlučovač popílku (8).

Výpočet komína byl proveden dle ČSN 734201 pro zimní a letní provoz a je uveden v příloze č.8. Vypočtená výška komín je 6 m a vnitřní průměr 500 mm. Toto je výška kterou komín musí mít, aby správně plnil svou funkci odvodu kouřových spalin. U komína je také nutné posoudit jeho vliv na okolní prostředí, a určit takovou výšku komína při které budou splněny všechny zákonné limity koncentrací škodlivin v ovzduší

5. Posouzení komína podle znečišťování ovzduší

5.1 Emise

Kotelna při svém provozu musí vyhovět zákonu č. 309/1991 Sb., Zákonu o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami. V tomto zákoně jsou definovány znečišťující látky, zdroje znečištění, limity znečištění s tím, že seznam znečišťujících látek, kategorizace zdrojů znečišťování a limity znečišťování jsou uvedeny ve vyhlášce č.117/1997.

Spalováním biomasy nevzniká více CO₂ než bylo předtím z ovzduší živými rostlinami přijato, ani více než by bylo do ovzduší vráceno přirozeným rozkladem v přírodě. Jedná se vždy o přirozený cyklus, který nezhoršuje „skleníkový“ efekt. Obsah těžkých kovů v biopalivu je v porovnání s jinými velmi nízký, přibližuje se nule a se spalinami se do ovzduší nedostává. Ve slámě je asi 0,1 až 0,3% síry v porovnání s min 2% v hnědém uhlí. Obsah dusíku je 0,1 až 0,5% v porovnání s tradičními palivy, které mají až 1,4% je to podstatně méně. Tvorbu NO_x je možné řídit a kontrolovat udržováním optimální maximální teploty plamene.

Z negativních jevů, na které je nutno brát ohled je třeba uvést:

- při spalování slámy je nebezpečí značného úletu jemného popílku, proto musí být používány výkonné odlučovače, ale také pohyblivé vodou chlazené rošty a hořáky.

- při spalování biomasy, která je vlhká, existuje vždy nebezpečí vzniku kouře (aromatické uhlovodíky). Palivo musí být suché nebo musí mít v topeništi čas proschnout než přijde k místu zapálení

- obsah CO může narůstat při přílišném škrcení topeniště z vysokého výkonu na nižší pouhým přívěrem vzduchu a při vlhkém palivu. Největší význam při redukci obsahu CO má přidavek horkého sekundárního vzduchu do oblasti největšího hoření spalovaných plynů, kde doba prohoření plynů by neměla být kratší než 0,5 s a teplota na konci plamene by měla být kolem 1000 °C.

- je vždy výhodnější, jestliže oblast zplynování paliv a dohoření spalných plynů jsou odděleny. Zplynování by mělo probíhat o teplotách 600 až 800 °C (pod 600°C je nebezpečí kouře), aby se vznikající popel nespékal, prohořívání spalných plynů o teplotě kolem 1000-1100 °C - více je zbytečné, konstrukce topeniště a výměníků se enormně zatěžují, vznikají NO_x.

Sledovaná kotelná o výkonu 600 kW se řadí dle zákona č.309/1991 mezi střední zdroje znečišťování. Při svém provozu musí splňovat emisní limity stanovené tímto zákonem.

Níže následuje výpočet znečišťování ovzduší pro navrhovanou kotelnou spalující slámu. Pro odpopílkování kotelny je použit odstředivý odlučovač popílku, jehož umístění je patrné z výkresu č.ZK2.

5.2 Základní údaje

-výkon kotle	Q _k : 600 (kW)
-výhřevnost paliva	Hp: 15,5 (Mj/kg)
-účinnost spalování	η _s : 84 (%)
-přebytek vzduchu	n: 2,5

-hodinová spotřeba paliva

B_h: 165,9 (kg)

-roční spotřeba paliva

B_r: 350 231 (kg)

Tab.5.1: Složení paliva - sláma

Obsah	Ap	Wr	C	H	S	N	O
kg/kg	0,003	0,11	0,45	0,04	0,003	0,002	0,39

Tab.5.2: Emisní faktory /emisní tok/ v kg/t spáleného paliva

Palivo	Tuhé emise	CO	NO _x	SO ₂
Sláma	12,16	1,211	2,235	0,061

Tab.5.3: Emisní limity, pro referenční obsah O₂=6 (%)

Instalovaný výkon kW	Tuhé emise mg/m ³	CO mg/m ³	NO _x mg/m ³	SO ₂ mg/m ³
600	250	650	650	2500

Tab.5.4: Účinnosti odstředivého odlučovače

Látka	Tuhé emise	NO _x	SO ₂
Účinnost η _o (%)	90	0	0

5.3 Výpočet znečišťování ovzduší:

1. Výpočet vlhkých spalín z výhřevnosti paliva:

- hmotnostní tok emisí RE (kg/rok) /-tj.hmotnost látky vypouštěné ze zdroje do okolí za jednotku času, v tomto případě za rok. Výpočet se provede z roční spotřeby paliva

$$RE = EF \times B_r \times (1 - \eta_o) \times 10^{-3}$$

Z hodinové spotřeby paliva se vypočítá hodinová emise HE (kg/h)

$$HE = EF \times B_h \times (1 - \eta_o) \times 10^{-3}$$

- skutečný obsah kyslíku ve spalínách O_2 (%)

$$O_2 = 21 - \frac{21}{n}$$

- hmotnostní koncentrace emisí-tj.hmotnost znečišťující látky ve spalínách vztažená na jednotku objemu nosného plynu v mg/m^3 . V normativní úpravě jsou emisní limity vztaženy k suchému plynu při normálním tlaku 101 325 (Pa) a teplotě 0 ($^{\circ}\text{C}$) pro definovaný obsah kyslíku O_2 .

- v technické praxi se pro přibližný výpočet objemu vlhkých spalín SV_s (Nm^3/kg) z 1(kg) paliva při 0($^{\circ}\text{C}$) a 101325 (Pa) využívá závislosti na výhřevnosti paliva H_p (MJ/kg). Jedná se rovnice dle Rosin-Fehlinga.

$$SV_s = H_p \times 0,212 + 1,65 + (n - 1) \times (H_p \times 0,241 + 0,5) \times 1,04$$

Pro stanovení suchých spalín byla použita metoda výpočtu množství vodních par ve spalínách a jejich odečtení od vlhkých spalín. U tuhých paliv je v podstatě obsah vodních par ve spalínách dán obsahem vody W_r v palivu.

- obsah vlhkosti (vodních par) ve spalínách z tuhých paliv V_v (Nm^3/kg paliva)

$$V_v = 11,2 \times H + 1,245 \times W_r + 0,04 \times V_{vz}$$

2. Výpočet vlhkých spalín ze známého chemického složení paliva:

- teoretické vlhké spaliny TV_s (Nm^3/kg)

$$TV_s = 1,87 \times C + 0,7 \times S + 0,8 \times N + 0,79 \times \frac{V_{vz}}{n}$$

- množství vzduchu přiváděného do topeniště V_{vz} (Nm^3/kg)

$$V_{vz} = (1,87 \times C + 5,6 \times H + 0,7 \times S - 0,7 \times O) \times \frac{n}{21}$$

- skutečné vlhké spaliny SV_s (Nm^3/kg)

$$SV_s = TV_s + (n - 1) \times 1,04 \times \frac{V_{vz}}{n}$$

- suché spaliny SS (Nm^3/kg)

$$SS = SV_s - V_v$$

- suché spaliny korigované na O_2

$$SS_{(\text{O}_2)} = SS \times \frac{21 - \text{O}_2}{21 - \text{O}_r}$$

- emise znečišťující látky VE (mg/m^3)

$$VE = \frac{EF \times (1 - \eta_o)}{SS_{(\text{O}_2)}} \times 100$$

Výsledky výpočtu pro jednotlivé znečišťující látky jsou uvedeny v Tab.5.5

Tab.5.5: Vypočítané emise

Látka	tuhé látky	SO_2	NO_x	CO
Hodinová emise (kg)	0,202	0,010	0,371	0,186
Roční emise (kg)	426	21	783	393
Emisní limit (mg/m^3)	250	2500	650	250
Vypočítané emise(mg/m^3)	210,8	10,6	387,4	194,3

Množství vlhkých palin SV_s 1 (kg) paliva

1. vypočítané z výhřevnosti paliva : 11,543 (Nm^3/kg)

2. vypočítané dle složení paliva : 11,304 (Nm^3/kg)

Vypočtené emise znečišťujících látek, jak je uvedeno v tabulce 5.5. vyhovují zákonným limitům. Přesto je nutné upozornit na to, že u pevných látek je vypočtená emise poměrně blízko emisnímu limitu. Tato skutečnost klade otázku, zda nebude v praxi za určitých podmínek docházet k překračování emisního limitu u pevných látek. Jak ukazuje tabulka 5.6, kde jsou uvedeny naměřené hodnoty koncentrací emisí pocházející ze zdroje obdobnému našemu, je předešlá úvaha reálná.

U velkých topenišť (pro výkony od 5 do 50 (MW) je emisní limit pro tuhé látky 150 (mg/m³)) je používání výkonných filtrů nezbytností.

Tab.5.6: Příklad naměřených hodnot koncentrací emisí, u kotle o výkonu 1800 (kW) spalující slámu ze dne 23.1.1998, autorizovanou osobou. Tyto koncentrace emisí byly zjištěny v suchých kouřových plynech při normálních při redukci na referenční obsah kyslíku ve výši 6 (%).

číslo měření	Koncentrace (mg/m ³)			
	CO	NO _x	SO ₂	tuhý úlet
1	115	392	9	
2	75	383	9	235
3	419	445	12	
4	83	424	9	243
5	118	443	12	
6	118	443	12	
7	125	439	9	
8	194	437	12	237
9	95	416	9	
10	185	420	12	
11	175	435	12	
12	109	400	9	
aritmetický průměr	151	423	11	238
směrodatná odchylka	89	20	1	3
zjištěná koncentrace	240	443	12	241

6. Výpočet očekávaných imisních koncentrací škodlivin

Cílem výpočtu je kvalifikace vlivu emisí z komína kotelny spalující slámu na okolní obytnou zástavbu. Umístění kotelny je patrné z výkresu ZK4.

Spaliny budou vedeny do komína o výšce 8 (m), jedním průchodem o vnitřním $\varnothing 500$ mm. Výpočet komína je uveden v příloze č.:8. Navržená výška komína 8 (m) je minimální možná výška, kterou za daných podmínek může komín mít.

Výpočet imisních koncentrací pro referenční body ležící ve vzdálenosti menší než 100 (m) od zdroje byl proveden podle schválené metodiky. Opatření FVŽP k zákonu č.309/1991 Sb stanovuje tyto imisní limity pro znečišťující látky:

Tab.6.1: Imisní limity pro znečišťující látky

Znečišťující látka	Imisní limity ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	IH _r	Ih _d	IH _k
Poletavý prach	60	150	500
Oxid siřičitý SO ₂	60	150	500
Oxidy dusíku NO ₂	80	100	200
Oxid uhelnatý CO	-	5 000	10 000

IH_r: průměrná roční koncentrace znečišťující látky.

Ih_d: průměrná denní koncentrace znečišťující látky

iH_k: průměrná půlhodinová koncentrace znečišťující látky

S těmito hodnotami budou porovnávány výsledné hodnoty imisních koncentrací škodlivin.

Pro kontrolu imisních koncentrací škodlivin byl proveden výpočet půlhodinové koncentrací, kritických hodnot a nejvyšších možných koncentrací škodlivin ve vybraném referenčním bodu. Jako referenční bod byl zvolen nejbližší obytný objekt, který je ve vzdálenosti 30 (m). Výpočet byl proveden pro nejvyšší patro objektu, v nichž imisní zatížení dosahuje největších hodnot. Výpočet byl proveden pomocí programu DKE-PROTECH.

Výsledek výpočtu je vytištěn v souhrnné tabulce, tab.:6.2, příloha č.8. Při výpočtu byly uvažovány tyto rychlosti větru: 1,5-4-8-13 m/s. Součástí výsledku výpočtu jsou i grafy rozložení koncentrací znečišťujících látek dle tříd stability a grafické znázornění rozptylu znečišťujících látek pro nejnepříznivější rychlost větru 8.0 m/s. Rozptyl tuhé látky je graficky znázorněn pro všechny rychlosti větru. Na tomto zobrazení je patrný vliv rychlosti větru na rozptyl znečišťujících látek produkovaných uvažovanou kotelnou.

Z výpočtů vyplývá, že při spalování slámy vypočtené hodnoty imisních koncentrací škodlivin ve všech třídách stability, pro všechny rychlosti větru a zvolený referenční bod, splňují povolené nejvyšší přípustné koncentrace škodlivin uvedené v opatření FVŽP k zákonu č. 309/1998 Sb.

7. Hluk

V dalším odstavci věnujeme pozornost jednotlivým zdrojům hluku, které mohou nastat v sledované kotelně, a možnostem působit proti škodlivým následkům hluku a chvění v pozemních stavbách. Vzniku hluku je nutno předcházet již v návrhu projektu. Dodatečné odstranění zdroje hluku z prostoru kotelny bývá obtížné.

7.1 Zdroje hluku

7.1.1 Čerpadla

Malá čerpadla, určená k montáži do potrubí, mají normovanou hlučnost (40-50) dB(A). Čerpadla umístěná na základě, mají hlučnost vyšší, kolem 65 dB(A).

V navrhované kotelně jsou použita malá čerpadla, určená k montáži do potrubí. Tato čerpadla jsou svým výkonem dostatečná s ohledem na uvažované tlakové ztráty a objemové průtoky obvyklé u kotlen této velikosti.

7.1.2 Potrubí a armatury

Vlastní potrubí není většinou zdrojem hluku, alespoň pokud rychlosti proudění v něm volíme v přiměřených mezích, potrubí je řádně uloženo a montáž odborně prováděna. Potrubí (i sloupec kapaliny, která jím proudí) může však přenášet, i na velké vzdálenosti, chvění a hluk. U zařízení ÚT se jedná především o hluk čerpadel. Jako tlumiče jsou do potrubí vsazovány pružné členy, kterými dosáhneme přerušení citlivosti potrubí. Jako pružné členy lze použít:

- kovové (vlnovcové) kompenzátory
- gumové kompenzátory
- gumové hadice (manžety)

U osových kompenzátorů kovových a gumových je nutné zachytit poměrně značnou osovou sílu, gumová hadice (manžeta) má nevýhodu v krátké životnosti.

Mimo přerušení celistvosti potrubí je nutno věnovat mimořádnou pozornost zavěšení a uložení potrubí. Největší útlum zvukových vln vznikne při náhlém rozšíření průřezů potrubí. Těmito opatřeními dosáhneme snížení hlučnosti řádově v jednotkách dB, jedná se spíše o zamezení šíření hluku do stavebních konstrukcí.

7.1.3 Kotel

Z hlediska hluku je vhodným řešením pouze předcházení vzniku hlukových vln. I drahá dodatečná protihluková opatření se ukázala jako málo účinná, často jen dočasná (výměna ložisek atd.). Z toho důvodu je pro budovy, kde platí přísné předpisy, omezující hladinu hluku, vhodné používat především ty kotle, u kterých výrobci deklarují nízkou hlučnost.

U kotlů na spalování slámy je zdrojem hluku chod příkládacího šneku, pohon dopravníku popela a ventilátor spalovacího vzduchu.

Bez těchto zařízení je však funkce kotle nemožná.

V řešeném příkladu, kdy kotelná je umístěna mimo obytnou budovu a vytápí v převážné míře hospodářské objekty, není problematika hluchnosti technologie kotelny, vzhledem k navrženým zařízením, významná.

8. Příprava paliva z biomasy ke spalování

8.1 Sklizeň, úprava a skladování slámy

Sláma obilovin, řepky, kukuřice a stonky lnu a v poslední době i seno z luk vyčleněných z potravinářského zájmů, mají vysokou energetickou hodnotu, ale v přírodním stavu je jen obtížné a zejména nepraktické je spalovat. Jejich objemová hmotnost v pořezaném, volně sypaném stavu je kolem 59 (kg/m³), což sice je vhodné pro plynulé přidávání paliva do topeniště, ale nevhodné pro skladování s ohledem na ohromné požadavky na skladovací prostor. Sláma se dnes sklízí buď sběracími vozy nebo sběracími lisy.

Oblast využití sběracích vozů je vzhledem k ekonomice dopravy (malé stlačení materiálu) limitována přepravní vzdáleností 2 km. Pro větší vzdálenosti jsou vhodnější stlačené stéblovin, to znamená využití sběracích lisů, případně briketovacích a peletovacích lisů.

8.2 Produkty úpravy slámy

- standardní balíky
- obří balíky (hranaté, válcové)
- brikety, pelety

Pro sklizeň energetických stéblovin v suchém stavu se stále více používají sběrací lisy na obří hranaté nebo válcové balíky. Teplárny a výtopny dávají přednost hranatým balíkům, na farmách se pro menší kotle používají i levnější svinovací lisy na válcové balíky.

Systém sklizně energetických stéblivin je uveden na obr.8.1,příloha č. 6.

8.2.1 Obří balíky

Obří balíky se vytvářejí v hranaté nebo válcové formě. Válcové mají hmotnost přibližně 350 (kg), objemovou hmotnost 60 - 90 (kg/m³). Hranaté balíky mohou vážit až 600 (kg) a mají objemovou hmotnost až 180 (kg/m³). Jedině ty je ekonomické převážet i na větší vzdálenosti. Také skladování a manipulace u je s nimi velmi výhodná a dá se i automatizovat. Sláma se do nich lisuje výhradně v suchém stavu s obsahem vody 15 - 20 (%). Tyto balíky jsou velmi vhodné pro velké spotřebitele, jako jsou teplárny dálkového vytápění, průmyslové podniky, potravinářský průmysl apod. Používají se také jako přídavek energeticky „povzbuzujícího“ paliva ve spalovnách komunálního odpadu. I přidávání obřích balíků slámy je většinou automatizováno. Balíky se vkládají do topenišť buď celé (regulace výkonu je omezena) nebo se rozpojují a do topeniště se vkládá většinou šnekem nebo pístem sláma pořezaná.

Systém skladování a zpracování energetických stéblivin je uveden na obr.8.2,příloha č.6.

8.3 Sklad slámy

Vychází-li se z vypočtené skutečné roční spotřeby tepla pro přípravu TUV a vytápění areálu zemědělské farmy 5 066 (GJ/r) pak z výše uvedených předpokladů vyplývá roční spotřeba 326,8 (t) slámy. Při průměrné produkci slámy řepky a obilovin 5 (t/ha) činí potřebná osevní plocha 66 (ha). Předpokládáme, že budeme slámu lisovat do balíků o rozměrech 1200 (mm) x 900 (mm) x 2000 (mm) o hmotnosti 400 (kg). Celková roční spotřeba je tedy 817 balíků slámy.

Námi navrhovaný sklad má podlahovou plochu 14 (m) x 28 (m) (392m²), výšku 7 (m). S ohledem na prostor nutný pro naskladnění

a manipulaci, je využitelná plocha skladu 322 m^2 . Na tuto plochu lze umístit při naskladnění do výše $5,4 \text{ m}$ celkem 858 balíků slámy. Z tohoto vyplývá, že navrhovaný sklad má dostatečnou kapacitu na to, aby zásoboval palivem výše uvedenou kotelnu. Půdorys skladu slámy je na výkrese ZK1 a ZK4.

Maximální hodinová spotřeba kotle je $165,9 \text{ kg}$ paliva za hodinu, tomu odpovídá $0,41$ balíku. Navrhovaný dopravník (21) s ohledem na velikost manipulačního prostoru (70 m^2) má kapacitu 5 balíků, to je zásoba která postačí na 12 hodin provozu při maximálním výkonu kotle, aniž by musela obsluha zasahovat. Za dopravníkem (21) následuje rozdružovadlo (20). Toto rozdružovadlo slouží k rozpojování obřích balíků slámy a k následné pneumatické dopravě přes odstředivý odlučovač paliva (6) do zásobníku paliva (5). Ze zásobníku paliva (5) je palivo dopravováno příkládacím šnekem (4) do hořáku.

Kotel během těchto 12 hodin vyprodukuje $39,6 \text{ kg}$ popela ($3,3 \text{ kg/h}$). Toto množství bez problému pojme, standardně užívaná popelnice ($V=0,11 \text{ m}^3$, $\rho_{\text{POPELA}}=400 \text{ kg/m}^3$).

Z těchto dvou skutečností vyplývá, že je postačující, aby obsluha jednou za 12 hodin naložila zásobník a vyprázdnila popelnici, po ostatní dobu bude kotelná v plně automatickém provozu.

9. Regulace

9.1 Základy regulace

Regulace otopných soustav je soubor zařízení, v dnešní době nejčastěji elektronických, která přizpůsobují provoz a výkon otopné soustavy okamžitým podmínkám. Úkolem regulace je udržování některé charakteristické veličiny (bývá nazývána regulovanou veličinou), tj.např. teploty otopné vody, vnitřní teploty v místnosti apod. v následujících režimech:

- na konstantní nastavenou hodnotu (např. řízení zásobníků TUV)
- na variabilně stavitelnou hodnotu, tzn. že tato veličina je regulována v závislosti ještě na jiných podmínkách (např. regulace vstupní teploty do otopné soustavy v závislosti na venkovní teplotě)

9.2 Princip regulace

V sledovaném případě vytápění zemědělské farmy, se otopná soustava, jenž byla výše navržena, skládá ze dvou kotelen. Každá z těchto kotelen je napojena na vlastní sekundární topné okruhy. Primární okruhy kotelen jsou navzájem propojeny. Tuto navrženou soustavu je třeba dále regulovat a to pro zajištění optimální součinnosti obou zdrojů tepla. Schéma celé soustavy, tedy propojení teplovodních okruhů a umístění jednotlivých armatur, atd. je vyobrazeno na výkrese ZK3 a ZK1.

Součinnost obou zdrojů tepla, kotelny spalující slámu a stávající plynové kotelny, zabezpečíme centrální nadřazenou automatikou, která zajistí regulaci teploty výstupní vody z kotlů na konstantní hodnotu. Předpokládá se, že přednost má provoz kotle na slámu.

Úkolem nadřazené regulace je ovládání kotle spalujícího slámu, na teplotě topné vody v kotlovém okruhu. Tato teplota, snímaná teplotním čidlem, je porovnávána s nastavenou hodnotou a na základě takto vzniklé regulační odchylky, jsou dávány pokyny pro snižování či zvyšování výkonu ventilátoru spalovacího vzduchu. V provozu při dodržení optimálních podmínek, se kotel ustálí na výkonu, který odpovídá pokrytí odběru výkonu topnou soustavou. V praxi dochází k cyklování skutečné teploty okolo nastavené hodnoty, přičemž odchylka skutečné a nastavené teploty je závislá na okamžitých změnách vnějších podmínek a neměla by překročit $\pm 5^{\circ}\text{C}$. V případě, že celá topná soustava bude mít tak velký odběr tepla, že kotel spalující slámu, nebude již jako zdroj tepla

postačovat, automatika zajistí start plynového kotle a oddělení topných soustav jednotlivých kotlen. Obdobná situace může nastat i tehdy, jestliže dojde k snížení výkonu kotle spalujícího slámu v důsledku jeho technické závady, výpadku v zásobování palivem, případně jiné nepředvídané okolnosti. V situaci, kdy bude odstaven kotel spalující slámu úplně, bude plynová kotelná zabezpečovat temperování celé otopné soustavy a tímto zamezí případnému zamrznutí vody v otopné soustavě.

Regulace topné vody v sekundárních okruzích obou kotlen bude prováděna pomocí centrální automatiky ekvitermně v závislosti na venkovní teplotě, případně v závislosti na vnitřní teplotě prostřednictvím trojcestného směšovače se servopohonem, současně se směšovači bude automatikou ovládán i chod jednotlivých oběhových čerpadel.

9.3 Regulační okruhy

- 1) Hlídání hladiny paliva v zásobníku (je ovládán: dopravník (21) - rozdružovadlo (20) - zásobník paliva (5))
- 2) Výkon kotle-hlídání výstupní teploty (je ovládán: podávací šnek (4) - ventilátor spalovacího vzduchu - odpopelnění - spalínový ventilátor (9))
- 3) Nedostatek tepla v systému - hlídání koncové polohy trojcestných ventilů a nízké teploty vratné vody (je ovládán: start plynového kotle (S1) - čerpadlo (S4) - čerpadlo (29) - střídací ventily (28))
- 4) Temperování systému -porucha kotle na slámu, start plynového kotle (je ovládán: start plynového kotle (S1) - čerpadlo (S4) - podávací šnek (4) - čerpadlo (26) - čerpadlo (27) - ventilátor spalovacího vzduchu - odpopelnění - spalínový ventilátor (9) - čerpadlo (29) - střídací ventily (28))

Je žádoucí aby centrální automatika monitorovala havarijní a poruchové stavy technologie, a tyto pak signalizovala na místo obsluhy. Současně byly v určitých případech odstaveny kotle a blokováno jejich uvedení do provozu. Doporučujeme sledovat tyto havarijní a poruchové stavy:

- výskyt plynu (pouze u plynové kotelny)
- havárie větrání kotelny (plynová kotelna)
- překročení havarijní teploty prostoru kotelny
- nízká hladina nebo tlak v soustavě s možnou vazbou na obvod doplnění
- vysoká hladina nebo tlak v soustavě
- porucha pohonu příkladacího šneku a spalínového dopravníku
- porucha pohonu dopravníku slámy
- překročení teploty výstupní vody primárního okruhu
- překročení teploty výstupní vody některého regulačního okruhu
- nedosažení provozní hladiny nebo tlaku po spuštění doplňování vody do uplynutí nastavené doby

10. Propojení teplovodních okruhů

10.1 Popis řešení

Sledovaná otopná soustava se skládá ze dvou samostatných otopných soustav. První, stávající je připojena přes hydraulický vyrovnávač dynamických tlaků na plynový kotel. Druhá, nová je obdobně připojena na kotel spalující slámu. Pro zajištění kvalitního provozu jsou tyto otopné soustavy navzájem propojeny a to na přívodním i vratném potrubí. Propojení je realizováno na primárních okruzích obou soustav, tedy mezi kotlem a hydraulickým

vyrovnávačem dynamických tlaků. K střídání směru toku kapaliny v propojovacím potrubí jsou navrženy dva trojcestné střídací ventily (28), zapojení je vyobrazeno na výkrese ZK3. K dopravě topného média se použije oběhové čerpadlo (29) ovládané centrální automatikou.

Schéma vedení teplovodu, tj. připojení stávající plynové kotelny na kotelnou spalující slámu a vedení pro vytápění areálu skleníku je uvedené na výkrese ZK4.

Pro dopravu otopného média je uvažováno se sdruženým systémem s ocelovou teplotnosnou trubkou. Pro sdružený systém je charakteristické, že teplotnosná trubka, polyuretanová tepelná izolace a vnitřní povrch plášťové trubky jsou upraveny tak, že izolační pěna přilne k trubkám a přenáší síly. Sdružená potrubí se pohybují jako jednotlivý celek, omezený třením v zemině. Dilatace potrubí je zachycována dilatačními polštáři, umístěnými vně systému nebo vestavěnými kompenzátory.

Pro předpokládaný teplotní spád média 90/70 (°C) a rychlost proudění cca 1 (m/s) je pro úsek propojení kotelen navržen průměr potrubí DN50 a pro úsek vytápění skleníku DN 100.

11. Kvalifikace pracovníků obsluhy

11.1 Základní podmínky

Kotelnou na spalování slámy mohou obsluhovat podle vyhl.91/93 jen osoby starší 18 let. Osoby určené k obsluze kotelny musí být dokonale poučeny a řádně zaučeny k obsluze celého zařízení (nejméně měsíc) a přezkoušeny ze znalosti bezpečnostních a požárních předpisů. O zacvičení a prověření znalostí musí být učiněn zápis podepsaný zkoušejícím orgánem a obsluhou kotelny. Obsluha je podřízena nadřízenému pracovníků, jemuž je svěřen dohled nad kotelnou.

11.2 Povinnosti obsluhy

- znát důkladně celé strojní zařízení kotelny z hlediska obsluhy a údržby
- znát a plně dodržovat provozní předpisy, příslušné normy a provozní předpisy výrobců o obsluze veškerého strojního zařízení kotelny
- znát a ovládat všechna zařízení související s provozem kotelny sloužící k zajištění bezpečného a hospodárního provozu a úspěšně zasáhnou i za mimořádných okolností, aby byla dodržena bezpečnost
- řídit se příkazy nadřízeného pracovníka, pokud nejsou v rozporu s přísl. předpisy a provozním řádem
- vést deník o provozu kotelny
- hlásit neprodleně každou poruchu, závadu nebo neobvyklý jev při provozu kotelny
- zúčastňovat se, pokud možno, revizí a kontrol zařízení

Při provozu uvažované kotelny bude postačující jeden pracovník obsluhy. Je požadováno, aby byl v kotelně přítomen minimálně jednou za 12 hodin a to z důvodu provedení kontroly technologie, náklady dopravníku paliva a vyvezení popela.

12. Ekonomické parametry

12.1 Investiční náklady

Při volbě zdroje tepla hrají podstatnou roli investiční náklady. Investiční náklady na vybudování kotelny spalující slámu o výkonu 600 (kW) jsou uvedeny v následujících bodech. Jednotlivé ceny

technologických zařízení jsou zpracovány na základě informací poskytnutých od firem působících v daných oborech, jedná se o ceny orientační, platící pro základní verze.

1) Výstavba kotelny - obestavěný prostor 420 (m³)

Výstavba klasickou technologií z pálených cihel, sedlová střecha, betonová podlaha včetně základů pro kotel, napojení na inženýrské sítě.

Cena včetně stavebních úprav: 2 500,- Kč/m³

Celkem.....1 050 000,- Kč

2) Úprava skladu slámy

Úprava stávající budovy, která by měla sloužit jako sklad slámy se bude skládat z instalace podstropních konstrukcí pro montáž pojezdových drah jeřábu a otvorů v obvodovém zdivu, jenž zajistí odvětrání podlahy.

Celkem.....200 000,-Kč

3) Zdroj tepla a technologická zařízení

- hořák pro spalování slámy včetně příslušenství.....320 000,- Kč
- dohořivací komora.....150 000,- Kč
- výměník.....250 000,-Kč
- rozdružovač slámy včetně dopravníku.....210 000,-Kč
- silo.....85 000,-Kč
- šnekové dopravníky.....80 000,- Kč
- regulace včetně elektro instalace.....120 000,-Kč

• filtrace.....	200 000,-Kč
• topné okruhy v kotelně.....	180 000,-Kč
• pomocné konstrukce.....	200 000,-Kč
• komín	40 000,-Kč
• cena montážních prací (15% ceny dodávky).....	270 000,-Kč
<u>CELKEM.....</u>	<u>2 065 000,-Kč</u>

4) Teplovod - předilozované potrubí (DN50 - 60 m, DN100 - 40 m)

• cena potrubí DN 50 (576,- Kč/m).....	34 560,-Kč
• cena potrubí DN 100 (1 300,-Kč/m).....	46 800,-Kč
• cena příslušenství (25% z ceny potrubí).....	20 340,-Kč
• cena montážních prací (20% ceny ceny dodávky).....	20 340,-Kč
• cena zemních prací.....	25 000,-Kč
<u>CELKEM.....</u>	<u>142 040,-Kč</u>

5) Úprava stávajících rozvodů

Stávající rozvody v plynové kotelně je nutné přizpůsobit na propojení s kotelnou spalující slámu, instalovat regulační a měřicí armatury a prvky.

• cena dodávky zařízení.....	30 000,-Kč
• cena montážních prací (20% ceny dodávky).....	6 000,-Kč
<u>CELKEM.....</u>	<u>36 000-Kč</u>

6) Zařízení pro manipulaci s balíky slámy

- cena dodávky.....360 000,-Kč
- cena montážních prací (15% ceny dodávky).....54 000,-Kč

CELKEM.....414 000,-Kč

CELKOVÉ INVESTIČNÍ NÁKLADY (zaokrouhleno).....3 900 000,-Kč

12.2 Výpočet zisku

Při posuzování výhodnosti stavby kotelny na spalování biomasy je rozhodující, zda její provozování zajistí v požadované době nejen návratnost vynaložených finančních prostředků, ale z nich i poměrný roční zisk alespoň ve výši stanovené úrokové sazby pro ukládané peníze

Základní údaje:

- teoretická spotřeba tepla-budoucí objekty..... $E_{B,t}$: 3690 GJ/r
- teoretická spotřeba tepla-stávající objekty..... $E_{S,t}$: 870 GJ/r
- účinnost systému při spalování NLTO..... $\eta_{S,LTO}$: 90%
- účinnost systému při spalování ZP..... $\eta_{S,ZP}$: 90%
- účinnost obsluhy..... η_o : 100%
- cena nízkosírného topného oleje C_{LTO} : 219 Kč/GJ
- cena zemního plynu..... C_{ZP} : 129 Kč/GJ
- cena spalované slámy..... C_s : 51,60 Kč/GJ
- doba životnosti technologie..... T_z : 20 let , $n = 1 - 20$
- bankovní úrok 15%..... i : 0,15

- investice..... I_s : 3 900 000,-Kč

Ve výkonové řadě kotlů a technologických zařízení, které připadají v úvahu pro použití v konkurenční technologii spalování nízkosirného topného oleje se pohybuje cena celkové dodávky přepočtena na instalovaný výkon kotle od 3,40 Kč.W¹. Ve sledovaném případě jsou investiční náklady kotelný spalující nízkosirný topný olej I_{LTO} : 2.040.000,-Kč.

Výpočet:

- skutečná spotřeba tepla-budoucí objekty $E_{B,s}$ (GJ/r)

$$E_{B,s} = \frac{E_{B,t}}{\eta_{s,LTO} \times \eta_O} = 4100 \frac{GJ}{r}$$

- skutečná spotřeba tepla-stávající objekty $E_{S,s}$ (GJ/r)

$$E_{S,s} = \frac{E_{S,t}}{\eta_{s,ZP} \times \eta_O} = 966,7 \frac{GJ}{r}$$

- roční hrubý výnos dosažený nižší cenou energie HZ (Kč/r)

$$HZ = E_{B,s} \times (C_{LTO} - C_s) + E_{S,s} \times (C_{ZP} - C_s) = 761.163, - \frac{Kč}{r}$$

- roční rozdíl provozních nákladů N (Kč/r)

$$N = N_u + N_m + N_{\bar{c}} = 180.000, - \frac{Kč}{r}$$

$N_m = 130\,000$, -Kč/r - změna nákladů na mzdy

$N_u = 30\,000$, -Kč/r - zvýšení náklady na údržbu technologického zařízení

$N_{\bar{c}} = 20\,000$, -Kč/r - zvýšení nákladů na dopravu topného média

- roční hrubý zisk HZN (Kč/r)

$$HZN = HZ - N = 581.163, - \frac{Kč}{r}$$

- roční diskontovaný hrubý zisk PNB (Kč/r)

$$PNB_n = \frac{HZN}{(1+i)^n}$$

Rok	1	2	3	4	5
PNB	505 359	440 275	382 124	332 281	288 940
Rok	6	7	8	9	10
PNB	251 252	218 480	189 983	165 202	143 654
Rok	11	12	13	14	15
PNB	124 917	108 623	94 455	82 134	71 421
Rok	16	17	18	19	20
PNB	62 156	54 011	46 982	40 840	35 523

- diskontovaný hrubý zisk za dobu životnosti TNB (Kč)

$$TNB = \sum_{n=1}^{T_z} PNB_n = 3.638.612Kč$$

- celkový zisk navýšené investice za dobu životnosti NPV (Kč)

$$NPV = TNB - (I_s - I_{LTO}) = 1.778.612Kč$$

- index ziskovosti Pi (-)

$$Pi = \frac{NPV}{I_s - I_{LTO}} = 0.95$$

- doba návratnosti navýšené investice DNN

$$\sum_{n=1}^{DNN} PNB = (I_s - I_{LTO}) \quad DNN = 4 \text{ roky, } 9 \text{ měsíců}$$

- doba návratnosti celkové investice DNC

$$\sum_{n=1}^{DNC} PNB = I_s$$

DNC = návratnost celkové investice je delší než doba životnosti zařízení (20 let).

Jestliže se při výstavbě zdroje tepla rozhodneme pro kotelnu spalující slámu, za 47 měsíců provozu, ušetříme finanční částku, rovnající se navýšeným investičním nákladům vzhledem k kotelně spalující nízkosirný topný olej.

13. Souhrn zákonů, ČSN

Souhrn nejdůležitějších zákonů, vyhlášek, ČSN ,atp. , které je nutno dodržet při výstavbě a provozování zdroje tepla spalujícího slámu, týkajících se technologie, provozu a vlivu na okolní prostředí:

- Vyhláška č.24/1984 Sb. ČÚBS
- Vyhláška č.25/1984 Sb. SUBP
- ČSN 73 5120 „Stavební provedení kotelen“
- ČSN 06 0830 „Zabezpečovací zařízení pro ústřední vytápění a ohřívání TUV
- ČSN 73 0802 „Požární vybavenost staveb“
- ČSN 73 0821 „Požární odolnost konstrukcí“
- ČSN 73 4101 „Výpočet komínových průchodů pro spotřebiče na tuhá a kapalná paliva“
- ČSN 73 4201 „Navrhování komínů a kouřovodů“
- ČSN 36 0035 „Denní osvětlení budov“
- ČSN 07 7401 „Voda a pára pro tepelná a energetická zařízení s jmenovitým tlakem menším než 0,5 MPa“
- Zákon č.309/1991 Sb., o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami a jeho následné novelizace

- Opatření Federálního výboru pro životní prostředí ze dne 1.října 1991 k zákonu č.309/1991 a jeho následné novelizace
- Směrnice č.58, Svazek 51/1981, Hygienické předpisy
- Vyhláška č.117/1997

14. Závěr

Zemědělství bude výhledově muset zajišťovat část svých energetických potřeb na pohon strojů a teplo ze svých zdrojů. Vedle surovin k výrobě bionafty, biomazadel a olejů disponuje již dnes dostatečným množstvím suchých rostlinných zbytků - biomasy jako je sláma obilovin a řepky a dřevní odpad, které mohou plně pokrýt požadavky na výrobu tepla pro vytápění i sušení. Aniž by to ohrozilo úrodnost půdy.

Celkový roční energetický potenciál obsažený ve vyrobené slámě činí v ČR $11,02 \times 10^{10}$ (MJ) (Statistická ročenka 1992). Při zohlednění poklesu zemědělské produkce a odečtu spotřeby slámy pro chov hospodářských zvířat je reálné předpokládat roční využití slámy pro energetické účely v hodnotě $3,6 \times 10^{10}$ (MJ).

Uvedený využitelný energetický potenciál (odpovídající $2,18 \times 10^6$ t kvalitního hnědého uhlí o výhřevnosti 16,5 MJ/kg) lze efektivně využít zejména pro vytápění zemědělských provozů a výrobě tepla ve venkovských regionech. Potencionálním uživatelem topenišť pro spalování slámy mohou být i některá odvětví průmyslu.

K hlavním překážkám, které brání v současné době širšímu využití slámy pro energetické účely patří:

- nedostatek informací o možnostech a technologiích spalování slámy
- vysoké investiční náklady

-
- tíživá ekonomická situace; zemědělské závody, regionální úřady a další možní investoři nemají kapitál
 - vysoké tržní úrokové sazby

Nástroje, které podpoří širší rozšíření technologií spalování slámy lze specifikovat takto:

- informační kampaň o obnovitelných zdrojích energie obecně, o možnostech využití topenišť pro spalování slámy, zvláště u potencionálních investorů
- vytvoření spravedlivých konkurenčních podmínek odstraněním subvencí u paliv
- přímá státní podpora formou dotací k investičním nákladům, resp. úrokům z půjček
- vybudování trhu pro topeniště na biomasu podporovaného státní poptávkou

Domníváme se, že i přes tyto překážky a omezení lze považovat spalování biomasy (slámy) za jeden z perspektivních zdrojů energie, který vzhledem ke své obnovitelnosti může v budoucnosti řešit problémy při zásobování teplem.

15. Použitá označení

Značka	Veličina	Jednotka
Ap	obsah popelovin	kg/kg paliva
B	spotřeba paliva	kg
C	obsah uhlíku	kg/kg paliva
C	cena	Kč
E	spotřeba tepla	GJ/r
EF	emisní faktor	kg/t paliva
H	výška	m
H	obsah vodíku	kg/kg paliva
HE	hmotnostní tok emisí	kg/h
Hp	výhřevnost paliva	MJ/kg
HZ	roční hrubý výnos	Kč/r
HZN	roční hrubý zisk	Kč/r
I	investice	Kč
I _{Hk}	imisní limit půlhodinové koncentrace	mg/m ³
K	koncentrace škodliviny	mg/m ³
K	součinitel chladnutí	-
L	délka	m
N	obsah dusíku	kg/kg paliva
N	náklady	Kč/r
O	obvod	m
O	obsah kyslíku	kg/kg paliva
O ₂	skutečný obsah kyslíku ve spalínách	%
Or	definovaný obsah kyslíku ve spalínách	%
Q	výkon	W
R	plynová konstanta	J/kgK
RE	hmotnostní tok emisí/rok	kg/r
S	plocha	m ²
S	obsah síry	kg/kg paliva
Se	součinitel pro neustálený hmotnostní tok	-

Sh	součinitel neustáleného teplotního stavu	-
SS	suché spaliny	Nm ³ /kg paliva
SVs	skutečné množství vlhkých spalin	Nm ³ /kg paliva
TNB	diskontovaný hrubý zisk	Kč/r
TVs	teoretické množství vlhkých spalin	Nm ³ /kg paliva
VE	emise látky	mg/m ³
Vs	objemový tok spalin	m ³ /s
Vv	obsah vlhkosti ve spalinách	Nm ³ /kg paliva
Vvz	množství vzduchu přiváděného do topeniště	Nm ³ /kg paliva
Wr	obsah vody v palivu	kg/kg paliva
X	délka	m
X	obsah sušiny	%

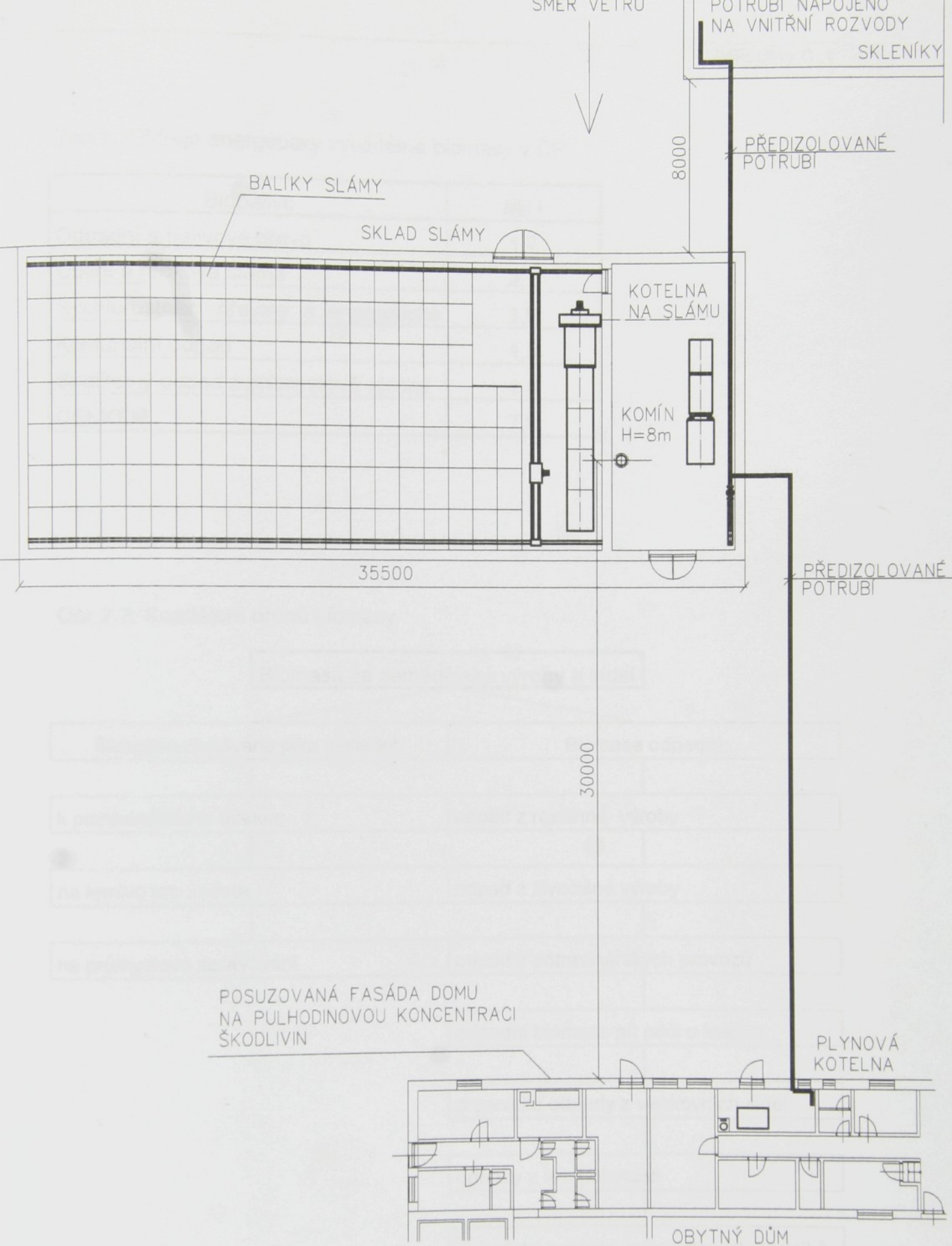
λ	součinitel tření	-
η	účinnost	%
ρ	měrná hmotnost	kg/m ³
ρ_{s0}	měrná hmotnost spalin pro 0°C a 101325 Pa	kg/m ³
bt	barometrický tlak	Pa
c	měrná tepelná kapacita	J/kgK
d	průměr	m
m	hmotnostní tok	kg/s
n	přebytek vzduchu	-
pE	tlaková ztráta v komíně	Pa
pZ	účinný tah v sopouchu	Pa
pZe	tlaková ztráta v sopouchu	Pa
r	drsnost	m
t	teplota	°C
tA	teplota na konci posledního úseku kouřovodu	°C
tB	teplota na konci posledního úseku komína	°C
tw	teplota spalin na kouřovém hrdle zdroje	°C
te	výpočtová venkovní teplota	°C
pU	tlaková ztráta úseku komína	°C
k	součinitel prostupu tepla	W/m ² K

Indexy označující

h	hodinový, hydraulický
k	komín, kotel
LTO	nízkosirný topný olej
max	maximální
nm	nad mořem
o	odlučovač, okolí, obsluha
p	palivo
r	roční
S	sláma
s	spalin, systém
u	úsek
v	vzduch
ZP	zemní plyn
Ž	životnost

16. Seznam literatury

1. Cihelka, J.: Vytápění a větrání, SNTL Praha, 1975
2. Topenářství instalace, Technické vydavatelství Praha s.r.o. (časopisy)
3. Čermák, J.: Spalovací zařízení a kotle, SNTL Praha, 1964
4. Martinec, E.: Umělé tahy a odpopílkování kotlen, SNTL Praha, 1962
5. Kára, J. a kol.: Obnovitelné zdroje energie, Ministerstvo zemědělství ČR (příručka), 1993
6. Tichotová, P.: Nové právní předpisy v ochraně životního prostředí, SEVT 1992
7. Pázral, E. a kol.: Kombinované energetické systémy s využitím obnovitelných zdrojů energie, VÚZT, 1996
8. Mlčoch, J.: Praktický průvodce podnikovou ekonomikou, MANAGEMENT PRESS, 1996
9. VVI, Společnost pro techniku prostředí (časopisy)
10. Studie vytápění skleníkového areálu Dětmárovice, Agroprojekt, 1985
11. Studie využití tepla z JE Telelín pro zemědělství, Agroprojekt. 1988
12. Firemní materiály: VERNER Červený Kostelec, BIOFLAMM, RIKOTHERM Praha, KRALUPOL Kralupy n. Vltavou, STS Jindřichův Hradec
13. Počítačové programy : PROTECH Nový Bor

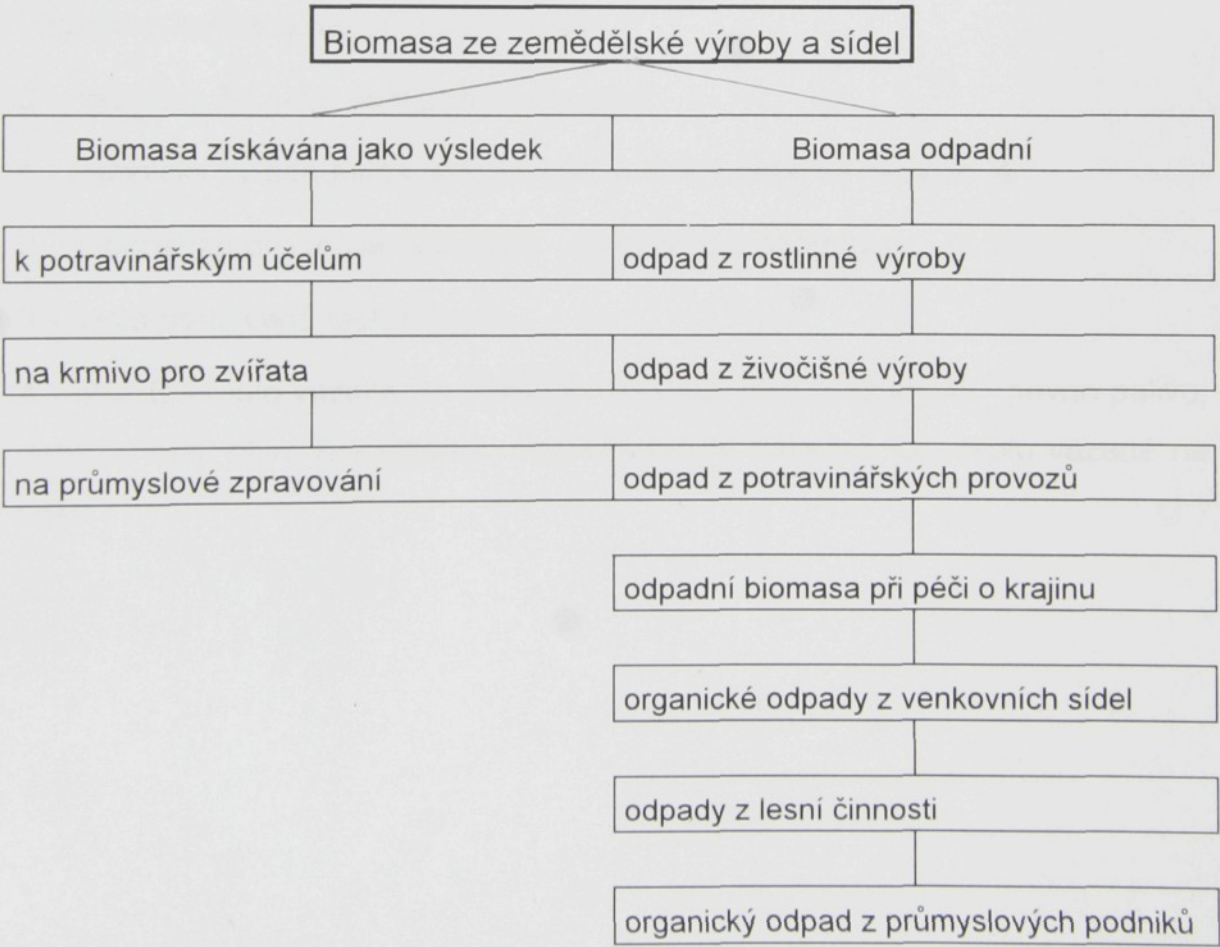


VYPRACOVAL PAVEL BARNA		FORMÁT 1 A4	DATUM 1.3.1998
KOTELNA NA SPALOVÁNÍ SLÁMY		STUPEŇ DIPLOMOVÁ PRÁCE	
		MĚŘÍTKO 1:250	ČÍSLO VÝKRESU ZK 4
Rozmístění budov		Schéma	

Tab.1.1:Zdroje energeticky využitelné biomasy v ČR

Biopalivo	Mil.t
Odpadní a palivové dřevo	1,7
Obilní a řepková sláma	2,7
Rychlerostoucí dřeviny a energetické	1,0
Komunální odpad	1,5
Spalitelný odpad z průmyslové výroby	1,0
CELKEM	7,9

Obr.2.2: Rozdělení druhů biomasy



Tab. 2.1: Biomasa využitelná k energetickým účelům

	Fyzikálně chemické zpracování	Spalování	Zplyňování	Pyrolýza	Alkohol. Kvašení	Metanové kvašení	Odpadní teplo
Energetické technické plodiny	3	3	1	1	3	2	0
Rostlinné zbytky	1	3	2	2	0	2	0
Odpady z živočišné výroby	0	1	1	1	0	3	2
Komunální organické odpady	0	3	1	2	0	3	2
Organické odpady u potr. výroby	0	0	0	0	2	3	1
Odpady z dřevař. provozů	0	3	2	2	0	0	0
Lesní odpad	0	3	1	1	1	1	1
ZÍSKANÉ PRODUKTY	A	B	C	D	E	F	G

Legenda: aplikace technologie v praxi

0 - nelze použít nebo se v praxi nevyužívá

1 - technicky zvládnutelná technologie, avšak v praxi se nevyužívá

2 - vhodné jen pro určité technicko - ekonomické podmínky

3 - často používaná technologie

A - olej; B - teplo vázané na nosič; C - hořlavý plyn (metan); D - pevné palivo, dehtový olej, plyn; E - ethanol, metylalkohol; F - metan; G - teplo vázané na nosič

Tab.2.5: Technické charakteristiky slámy jako paliva

	Drcená sláma	Balíky standart	Obří balíky		Brikety- pelety
Měrná hmotnost (kg.m ⁻³)	40-60	70-120	60-90	60-180	300-600
Hmotnost jednotky (kg)	-	8-25	300-400	200-600	0.02-0,2
Dopravovaná vzdálenost-krátká	-	0	+	++	++
Dopravovaná vzdálenos-dlouhá	--	-	0	+	++
Způsob přikládání	Plynulý	Přeruš.	Přeruš. i plynulý		Dávkový
Ruční přikládání	-	+	--	--	++
Mechanické přikládání	++	-	-	0	++
Možnost regulace	++	+	0	0	++
Systém spalování	Pneu a	Spodní odhořívání s př.		Pohyblivý	

Pozn.: ++ = velmi vhodné; + = dobré; 0 = neutrální; - = méně vhodné; -- = nevhodné nebo nemožné

Tab.2.4: Množství dřeva ke stejnému tepelnému výkonu při různé vlhkosti

Obsah vody ve %	Potřeba paliva na jednotku výkonu	
	A (%)	B (%)
0	100	-
10	111	-
20	127	100
30	150	118
40	180	143
50	232	181
60	300	235

A= základ, 100% je při obsahu vody = 0%

B= základ, 100% je při obsahu vody = 20% (odpovídá praxi)

V E T R A N I K O T E L N Y

Projektová organizace: VEKTOR - tep. a ventil. technika
Datum : 14. 5. 1998 Archivace: BARNA.VKO
Projektant: Pavel Barňa Stavba: DIP. PRACE
K. číslo: 01 Objekt: Kotelna-spál. slama

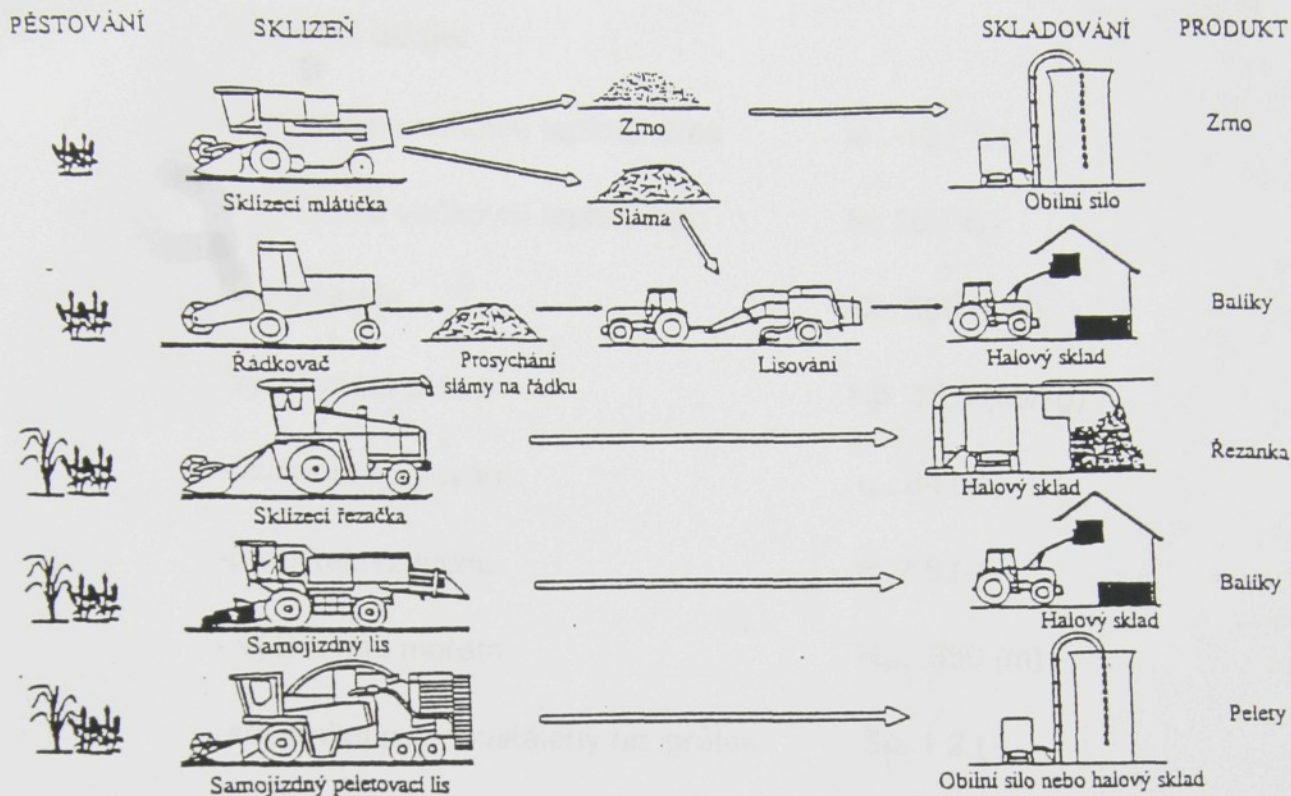
ZADANI:

Vzduch pro odvod škodlivin:
- objem kotelny V : 420.0 [m³]
- intenzita výmeny vzduchu I : 3 [/h]
Spalovací vzduch:
- venkovní výpočtová teplota te : -15 [C]
- průmerný tlak vzduchu bt : 97485 [Pa]
- požadovaná teplota v kotelne tk : 10 [C]
- teplota ve vytápených objektech ti : 20 [C]
- výkon kotelny - max Qk : 600 [kW]
- z toho letní (TUV) Qkl : 600 [kW]
- druh paliva : slama
- přebytek vzduchu n : 2.5
- vyhřevnost paliva Hp : 15.5 [MJ/kg;m³]
- účinnost spalování us : 84 [%]
Vzduch pro odvod tepelné zátěže:
- podíl tepelných zisků z kotlu Z : 1.2 [%]
- zvýšení od zařízení kotelny Zz : 1.3
- tepelná ztráta kotelny pro te=-15 ; tk=10 Qze : 5000 [W]
- přípustné letní zvýšení tkl dt : 5 [C]
Vzdálenost os přívod. a odv. otvoru h : 4.5 [m]
Koeficient průtoku přívod. otvoru mip : 0.8 odvěracího otvoru mio : 0.8

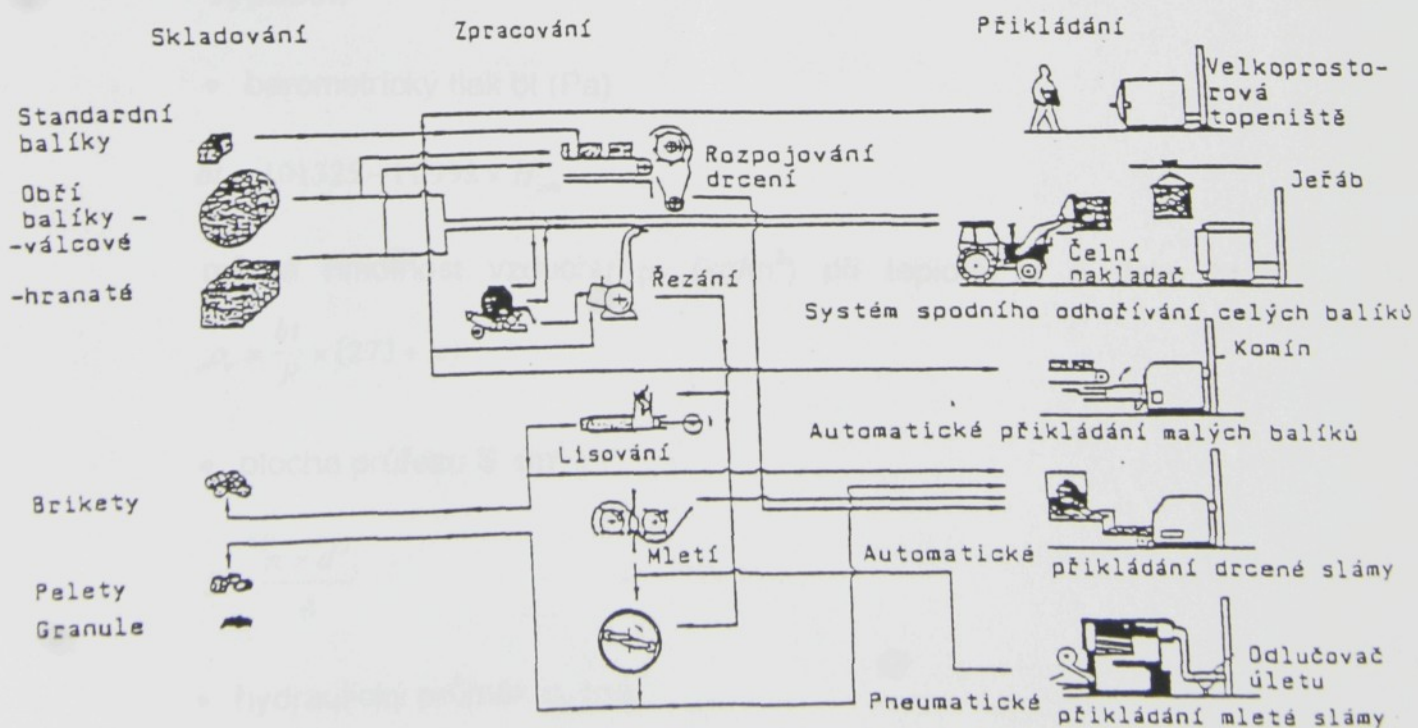
ZÁVĚR:

Venkovní teplota	te	-15	-6	0	6	13	19	26	30	C
Teplota v kotelne	tk	10.0	10.0	10.9	16.9	23.9	24	31	35	C
Výkon ohrivaku	Qo	23953	7730	403	0.000	0.000	-	-	-	W
	Vs	Vs	Vs	Vs	Vs	Vt	Vt	Vt	Vt	
Max. přívod	Vm	0.526	0.526	0.527	0.535	0.550	1.584	1.622	1.644	m ³ /s
PRÍVOD-otvor (0.75x0.75m)										
- neuzavíratelný	Sp	0.563	0.563	0.563	0.563	0.563	0.563	0.563	0.563	m ²
- ustálený průtok	Vu	0.847	0.672	0.550	0.545	0.538	0.362	0.358	0.356	m ³ /s
- rychlost	wp	1.504	1.194	0.977	0.968	0.956	0.643	0.636	0.632	m/s
- kontrolní poměr	Vu/Vc	2.420	1.920	1.571	1.557	1.537	1.034	1.023	1.017	
- doplňkový	Sd					0.000	1.857	1.857	1.857	m ²
ODVOD -otvor (0.7x0.7m)										
- neuzavíratelný	So	0.490	0.490	0.490	0.490	0.490	0.490	0.490	0.490	m ²
- doplňkový	So					0.013	1.682	1.831	1.925	m ²

Obr.8.1: Systémy sklizně a úpravy energetických stéblovin



Obr.8.2: Technologické schéma zpracování, skladování a překládání slámy do topeniště



Výpočet komínu

Základní údaje:

-výpočtová venkovní teplota-zima	te: -15 (°C)
-výpočtová venkovní teplota-léto	te: 20 (°C)
-výkon kotle	Q _k : 600 (kW)
-výhřevnost paliva	Hp: 15,5 (Mj/kg)
-účinnost spalování	η _s : 84 (%)
-přebytek vzduchu	n: 2,5 (-)
- výška nad mořem	H _{nm} : 350 (m)
-součinitel pro neustálený hm.průtok	Se: 1,2 (-)
-součinitel neustáleného teplot.stavu	Sh: 0,95 (-)
-měrná tepelná kapacita spalin	c _s : 1050 J/kgK

Výpočet:

- barometrický tlak bt (Pa)

$$bt = 101325 - 11,998 \times H_{nm}$$

měrná hmotnost vzduchu ρ_v (kg/m³) při teplotě te a tlaku bt

$$\rho_v = \frac{bt}{R} \times (273 + te)$$

- plocha průřezu S (m²)

$$S = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

- hydraulický průměr d_h (m)

$$d_h = d$$

- vnitřní obvod O (m)

$$O = \pi \times d$$

- součinitel tření λ (-)

$$\lambda = 0,118 \times \frac{r^{0,25}}{d_h^{0,4}}$$

- součinitel chladnutí K (-)

$$K = \frac{k \times O \times H}{m \times c_s}$$

- teplota spalin na konci úseku $tk_{(u)}$ ($^{\circ}\text{C}$)

pro 1. úsek

$$tk_{(1)} = to_{(1)} + [tw - to_{(1)}] \times e^{-K_{(1)}}$$

pro 2.úsek

$$tk_{(2)} = to_{(2)} + [tk_{(1)} - to_{(2)}] \times e^{-K_{(2)}}$$

- střední teplota spalin v úseku $ts_{(u)}$ ($^{\circ}\text{C}$)

pro 1.úsek

$$ts_{(1)} = \frac{tw - tk_{(1)}}{\ln \left[\frac{tw}{tk_{(1)}} \right]}$$

pro další úseky se tw nahrazuje tk předchozího úseku

- hodinová spotřeba paliva na výkon 1kW B_{hp} (kg)

$$B_{hp} = \frac{3,6}{\eta_s \times Hp}$$

- objem vlhkých spalin SV_s (Nm^3/kg) při teplotě 0 ($^{\circ}\text{C}$) a tlaku $101\,325$ (Pa) dle Rosin-Fehlinga z 1 (kg) paliva

Nm^3 = normální metr krychlový látky, tj. při teplotě 0 ($^{\circ}\text{C}$) a tlaku $101\,325$ (Pa)

$$SV_s = Hp \times 0,212 + 1,65 + (n - 1) \times (Hp \times 0,241 + 0,5) \times 1,04$$

- hmotnostní tok spalin m_s (kg/s)

$$m_s = SV_s \times B_{hp} \times Q_k \times \rho_s^0 \times \frac{1}{3600}$$

- měrná hmotnost spalin ρ_s (kg/m^3)

$$\rho_s = \rho_s^0 \times \frac{273}{273 + t_s} \times \frac{bt}{101325}$$

- rychlost spalin w_s (m/s)

$$w_s = \frac{m_s}{\rho_s \times S}$$

- tlaková ztráta v úseku pU (Pa)

$$pU = Se \times \left[\lambda \times \frac{H_u}{d_h} + \xi \right] \times \frac{\rho_s \times w_s^2}{2}$$

- střední teplota spalin v komíně t_{sk} ($^{\circ}\text{C}$)

$$t_{sk} = \frac{tA - tB}{\ln \frac{tA}{tB}}$$

- střední měrná hmotnost spalin v komíně ρ_{sk} (kg/m^3)

$$\rho_{sk} = \rho_s \times \frac{273}{273 + t_{sk}} \times \frac{bt}{101325}$$

- statický tah komína pH (Pa)

$$pH = Hu \times (\rho_v - \rho_{sk}) \times 9,81 \times Sh$$

- tlaková ztráta v komíně pE (Pa)

$$pE = \sum pU_{(u)}$$

- účinný tah v sopouchu pZ (Pa)

$$pZ = pH - pE$$

Výsledky:

Tab.4.1: Tabulka výsledků výpočtu komína pro zimní a letní provoz

		Zima		Léto	
Čísla úseků:		1	2	1	2
Připojený výkon kotle	:Q _k (kW)	600	600	600	600
Hmotnostní průtok spalin	:m _s (kg/s)	0,698	0,698	0,698	0,698
Vnitřní průměr	:d (mm)	500	500	500	500
Materiál stěn-drsnost	:r (mm)	0,5	0,5	0,5	0,5
Délka úseku	:H (m)	2	4	2	4
Vřazené odpory	:ξ (-)	0,2	1,2	0,2	1,2
Součinitel prostupu tepla	:k (W/m²K)	0,8	0,8	0,8	0,8
Okolní teplota	:t _o (°C)	15	-15	20	20
Teplota spalin	:t _s (°C)	199,4	197,9	119,4	198,2
Rychlost spalin	:w _s (m/s)	4,87	4,86	4,87	4,86
Tlaková ztráta úseku	:pU (Pa)	3	14,4	3	14,4
Účinná výška komína	:Hu (m)	6		6	
Statický tah komína	:pH (m)	32,7		23,9	
Výpočtová venkovní teplota	:te (°C)	-15		20	
Tlaková ztráta komína	:pE (Pa)	17,4		17,4	
Účinný tah komína	:pZ (Pa)	15,3		6,5	
Tlakové ztráty v sopouchu	:pZe (Pa)	4		4	
Výsledek:	:pZ - pZe =	>0;komín vyhovuje		>0; komín vyhovuje	

Úsek č.1 - úsek komína uvnitř budovy

Úsek č.2 - úsek komína vně budovy

POSOUZENÍ KOMINA PODLE PULHODINOVÉ KONCENTRACE

Firma : VEKTOR - tep. a ventil. technika
Datum : 23. 4.1998 Archivace: BARNA.DKE
Projektant: Pavel Barna Stavba: DIP.PRACE
Zak. číslo: 02 Objekt: Kotelna-spal.slama

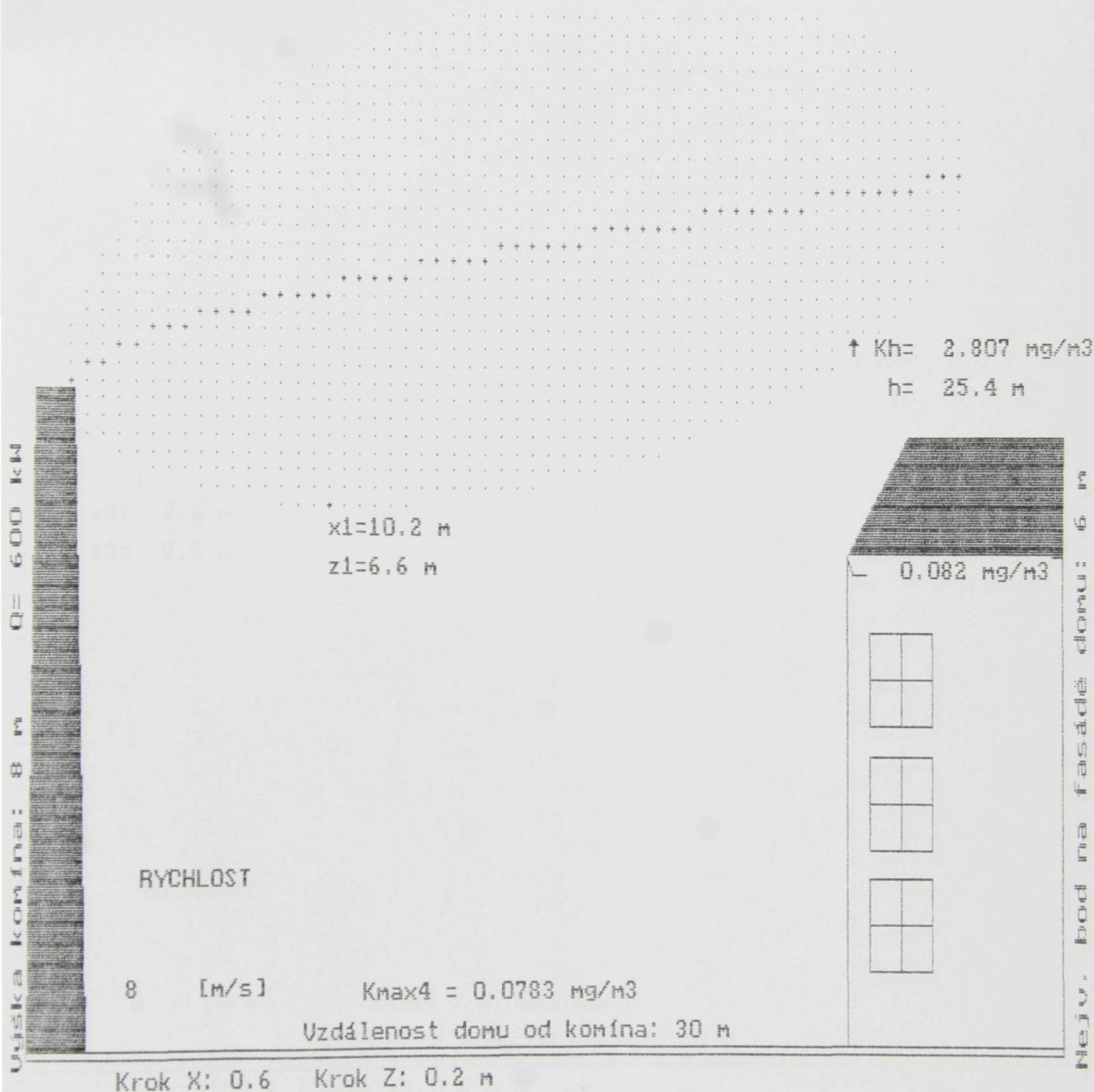
Vložené vstupní údaje :

Palivo: slama horak
Vyhřevnost paliva Hp: 15.5 [MJ/m³]
Výkon kotelný Qk: 600 [kW]
Účinnost spalování us: 84 [%]
Výška koruny komína H: 8 [m]
Vzdálenost posuz. bodu od osy komína X: 30 [m]
Výška posuzovaného bodu z2: 6 [m]
Vypočítané hodnoty :
Hodinová spotřeba paliva Bh: 165.9 [m³/h]
Objemový tok spalin Vs: 0.532 [m³/s]
Tepelná vydatnost spalin Qs: 0.0600 [MW]

Skodliviny v palivu	tuhé látky	SO ₂	NO _x	CO	uhlovodíky	aldehydy	
Emis. f. kg/t;g/m ³	12.16	0.061	2.235	1.121			
Kp mg/m ³	0.5000	0.5000	0.2000	10.0000	0.0000	0.0000	0.0000
M g/s	0.5604	0.0028	0.1030	0.0517	0.0000	0.0000	
Kh mg/m ³	15.274436	0.0763177	2.8073998	1.4091512	0.0000000	0.0000000	
h m	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	
K max. mg/m ³	0.4480228	0.0022385	0.0823454	0.0413326	0.0000000	0.0000000	
K max4 mg/m ³	0.4260232	0.0021286	0.0783019	0.0393030	0.0000000	0.0000000	0.0000000
H4 m	8.0	8.0	8.0	8.0	-	-	-

IHK - imisní limit (pulhod. konc.)
h - výška pro max. konc. ve vzdálenosti X
Kh - koncentrace v této výšce [mg/m³]
Kmax - max. koncentrace pro X a z2
Kmax4 - max. koncentrace pro X a z2 a stupen stability IV
H4 - výška komína, pro kterou bude Kmax4 ≤ IHK

Rozptyl látky - NOx IHk : 0.200 mg/m3

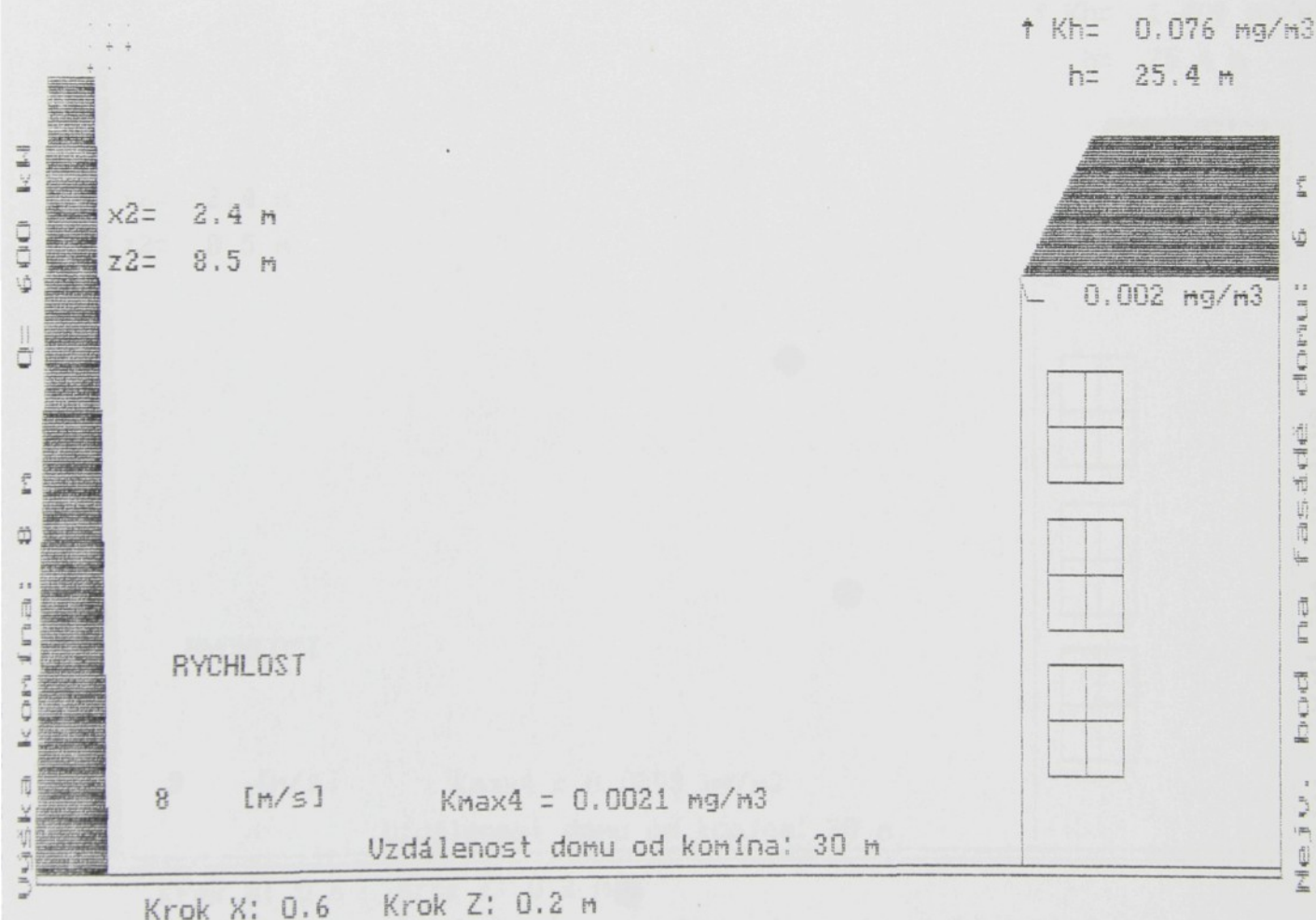


Největší koncentrace na fasade domu je při rychlosti 8.0 m/s

POPIS GRAFU

Zobrazena sit bodu jsou mista s pulhodinovou koncentrací škodlivin IHK vetší nebo rovnou zadane hodnotě IHK. Zvyraznene body znazornuji osu vlecky, t. j. mista s nejvetší koncentrací. Koncentrace jsou spocitany pro nejnepriznivější rychlost vetru a pro 5 tríd stability. Z techto peti koncentrací se vybere nejvetší. Takto vznikly obraz rozptylu tedy znazornuje hranice vsech nejnepriznivějších prípadu pro uvedenou rychlost vetru. Bod x_1, z_1 (pokud je zobrazen) predstavuje misto s nejnižssí vyskou vlecky s koncentrací alespon rovnou hodnotě max. Bod x_2, z_2 je nejvzdalenejší bod vlecky se stejnou podmínkou pro koncentrací a pro prípad, kdy tato vlecka nenarazi na fasadu domu.

Rozptyl látky - SO₂ IHk : 0.500 mg/m³

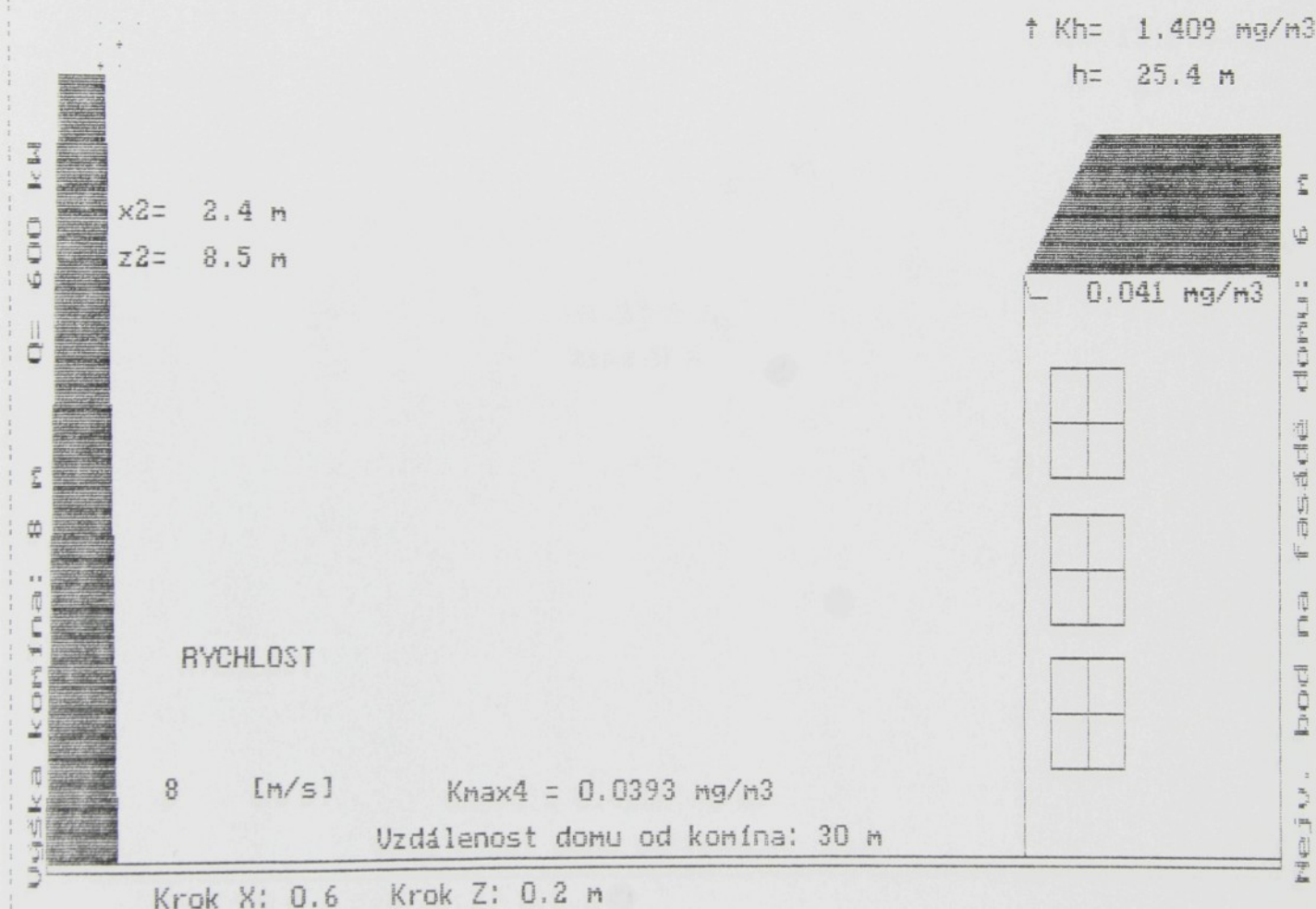


Největší koncentrace na fasádě domu je při rychlosti 8.0 m/s

POPIS GRAFU

Zobrazena sit bodu jsou místa s pulhodinovou koncentrací škodlivin IHk větší nebo rovnou zadane hodnotě IHk. Zvýrazněné body znázorňují osu vtecky, t. j. místa s největší koncentrací. Koncentrace jsou spočítány pro nejnepriznivější rychlost vetru a pro 5 tříd stability. Z těchto peti koncentrací se vybere největší. Takto vznikly obraz rozptylu tedy znázorňuje hranice všech nejnepriznivějších případů pro uvedenou rychlost vetru.

Bod x1,z1 (pokud je zobrazen) představuje místo s nejnížší výškou vtecky s koncentrací alespon rovnou hodnotě max. Bod x2,z2 je nejvzdálenější bod vtecky se stejnou podmínkou pro koncentrací a pro případ, kdy tato vtecka nenarazí na fasádu domu.

Rozptyl látky - CO IHk : 10.000 mg/m³

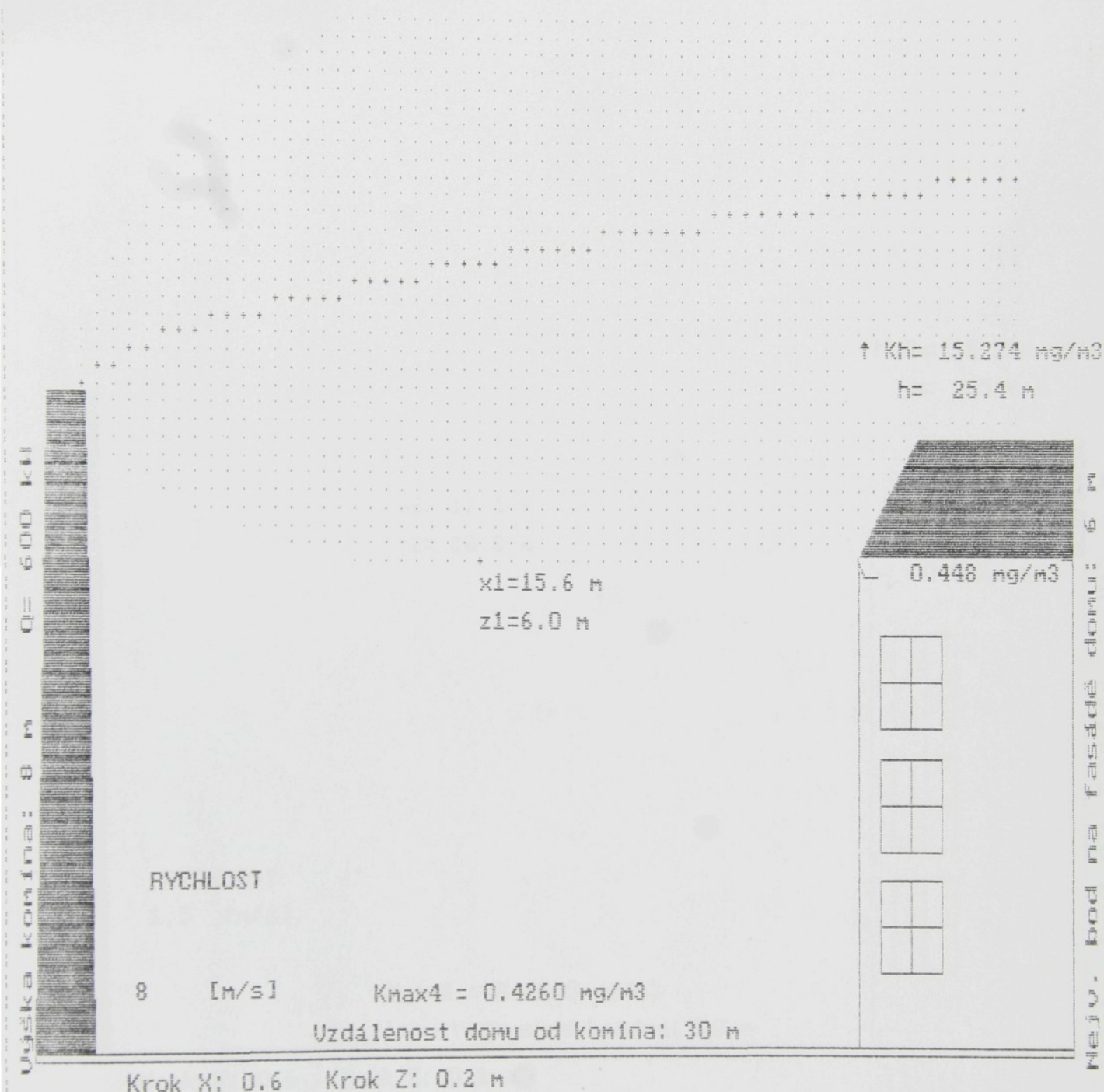
Největší koncentrace na fasádě domu je při rychlosti 8.0 m/s

POPIS GRAFU

Zobrazena sit bodu jsou mista s pulhodinovou koncentraci skodlivin IHk vetsi nebo rovnou zadane hodnotě IHk. Zvyraznene body znazornuji osu vlecky, t. j. mista s nejvetsi koncentraci. Koncentrace jsou spocitany pro nejnepriznivější rychlost vetru a pro 5 tríd stability. Z techto peti koncentraci se vybere nejvetsi. Takto vznikly obraz rozptylu tedy znazornuje hranice vseh nejnepriznivějších pripadu pro uvedenou rychlost vetru.

Bod x1,z1 (pokud je zobrazen) predstavuje misto s nejnižší výškou vlecky s koncentraci alespon rovnou hodnotě max. Bod x2,z2 je nejvzdalenejší bod vlecky se stejnou podmínkou pro koncentraci a pro pripad, kdy tato vlecka nenarazi na fasadu domu.

Rozptyl látky - tuhé látky IHk : 0.500 mg/m³



Největší koncentrace na fasádě domu je při rychlosti 8.0 m/s

POPIS GRAFU

Zobrazena sit bodu jsou místa s pulhodinovou koncentrací škodlivin IHk větší nebo rovnou zadane hodnotě IHk. Zvýrazněné body znázorňují osu vlečky, t. j. místa s největší koncentrací. Koncentrace jsou spočítány pro nejnepriznivější rychlost větru a pro 5 tříd stability. Z těchto pěti koncentrací se vybere největší. Takto vzniklý obraz rozptylu tedy znázorňuje hranice všech nejnepriznivějších případů pro uvedenou rychlost větru.

Bod x_1, z_1 (pokud je zobrazen) představuje místo s nejnižší výškou vlečky s koncentrací alespoň rovnou hodnotě max. Bod x_2, z_2 je nejvzdálenější bod vlečky se stejnou podmínkou pro koncentraci a pro případ, kdy tato vlečka nenarazí na fasádu domu.

Příloha k zak. č:

[VEKTOR - tep. a ventil. techn.]

Rozptyl látky - tuhé látky IHk : 0.500 mg/m³† Kh = 15.274 mg/m³

h = 25.4 m

x2 = 13.2 m

z2 = 12.8 m

RYCHLOST
1.5 [m/s]K_{max4} = 0.4260 mg/m³

Vzdálenost domu od komína: 30 m

Krok X: 0.6 Krok Z: 0.2 m

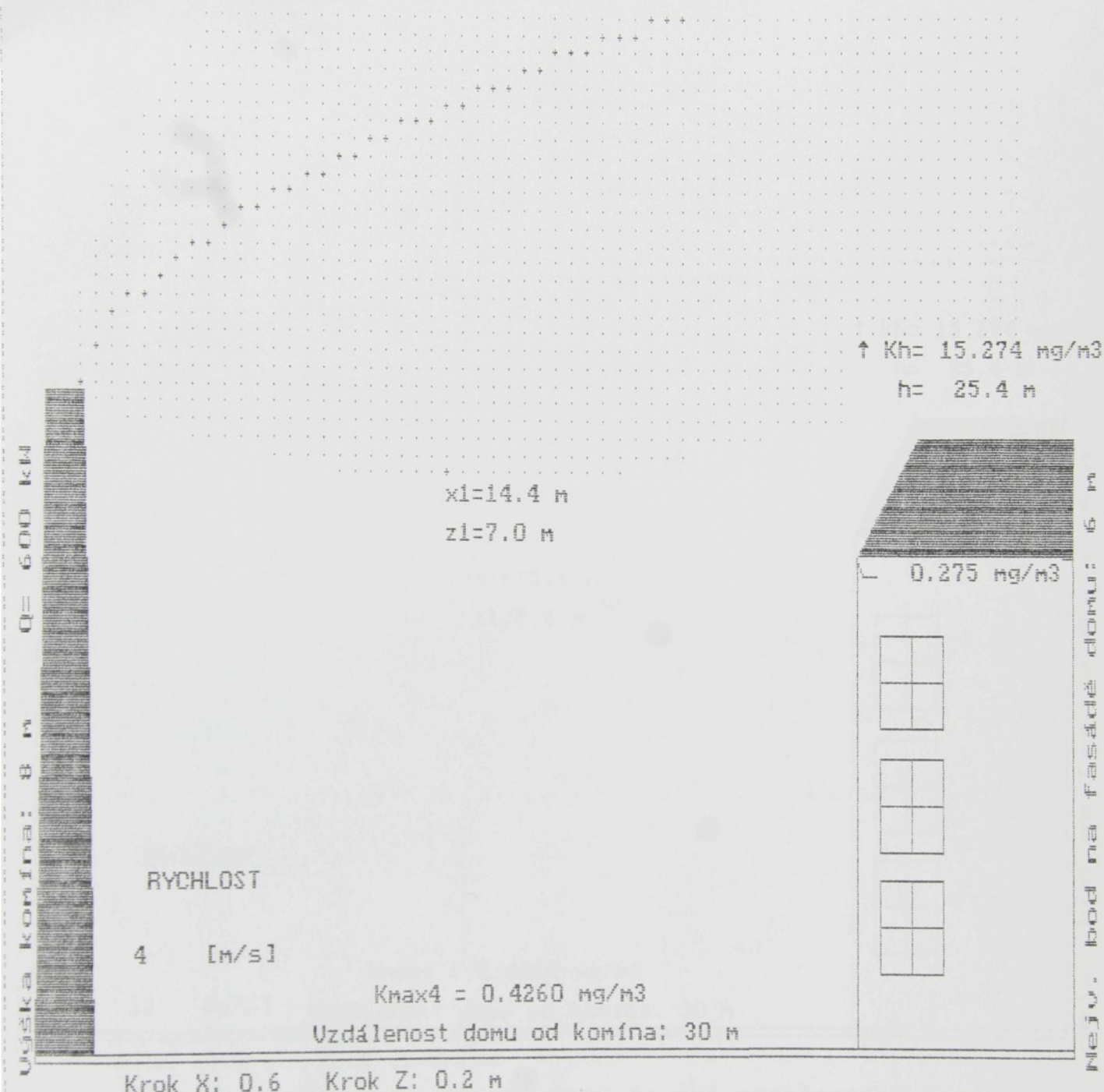
Největší koncentrace na fasádě domu je při rychlosti 8.0 m/s

POPIS GRAFU

Zobrazena sit bodu jsou místa s pulhodinovou koncentrací škodlivin IHk větší nebo rovnou zadane hodnotě IHk. Zvýrazněné body znázorňují osu vtecky, t. j. místa s největší koncentrací. Koncentrace jsou spočítány pro nejnepriznivější rychlost větru a pro 5 tříd stability. Z těchto pěti koncentrací se vybere největší. Takto vznikly obraz rozptylu tedy znázorňuje hranice všech nejnepriznivějších případů pro uvedenou rychlost větru.

Bod x1, z1 (pokud je zobrazen) představuje místo s nejnižší výškou vtecky s koncentrací alespon rovnou hodnotě max. Bod x2, z2 je nejvzdálenější bod vtecky se stejnou podmínkou pro koncentraci a pro případ, kdy tato vtecka nenarazí na fasádu domu.

Rozptyl látky - tuhé látky IHk : 0.500 mg/m³



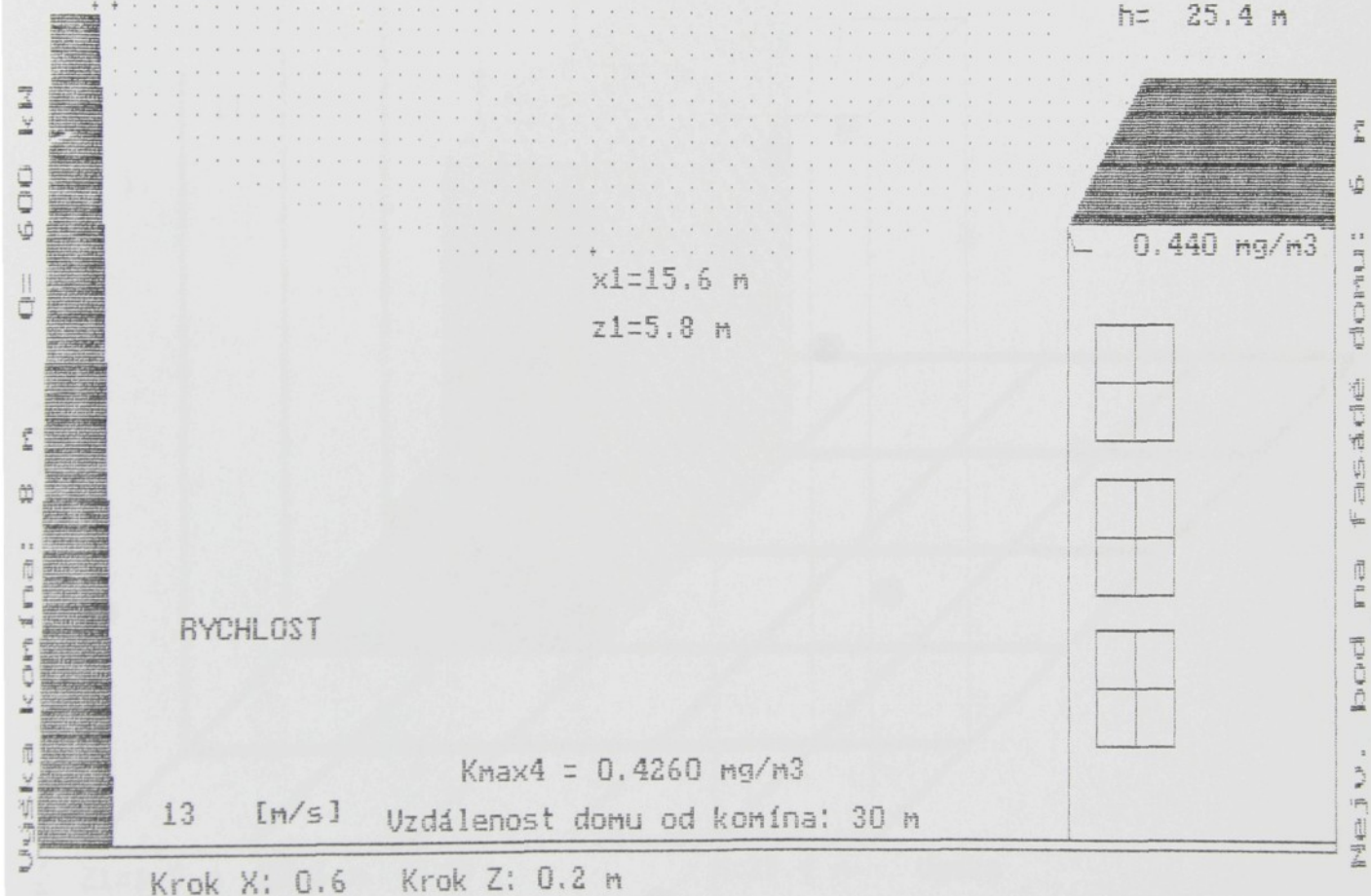
Největší koncentrace na fasádě domu je při rychlosti 8.0 m/s

POPIS GRAFU

Zobrazena sit bodu jsou místa s pulhodinovou koncentrací škodlivin IHk větší nebo rovnou zadane hodnotě IHk. Zvýraznene body znazornuji osu vlečky, t. j. místa s největší koncentrací. Koncentrace jsou spocitany pro nejnepriznivější rychlost vetru a pro 5 tríd stability. Z techto peti koncentrací se vybere největší. Takto vznikly obraz rozptylu tedy znazornuje hranice vsech nejnepriznivějších pripadu pro uvedenou rychlost vetru.

Bod x_1, z_1 (pokud je zobrazen) predstavuje místo s nejnižší výškou vlečky s koncentrací alespon rovnou hodnotě max. Bod x_2, z_2 je nejvzdalenejší bod vlečky se stejnou podmínkou pro koncentrací a pro pripad, kdy tato vlečka nenarazi na fasádu domu.

Rozptyl látky - tuhé látky IHk: 0.500 mg/m³



Největší koncentrace na fasádě domu je při rychlosti 8.0 m/s

POPIS GRAFU

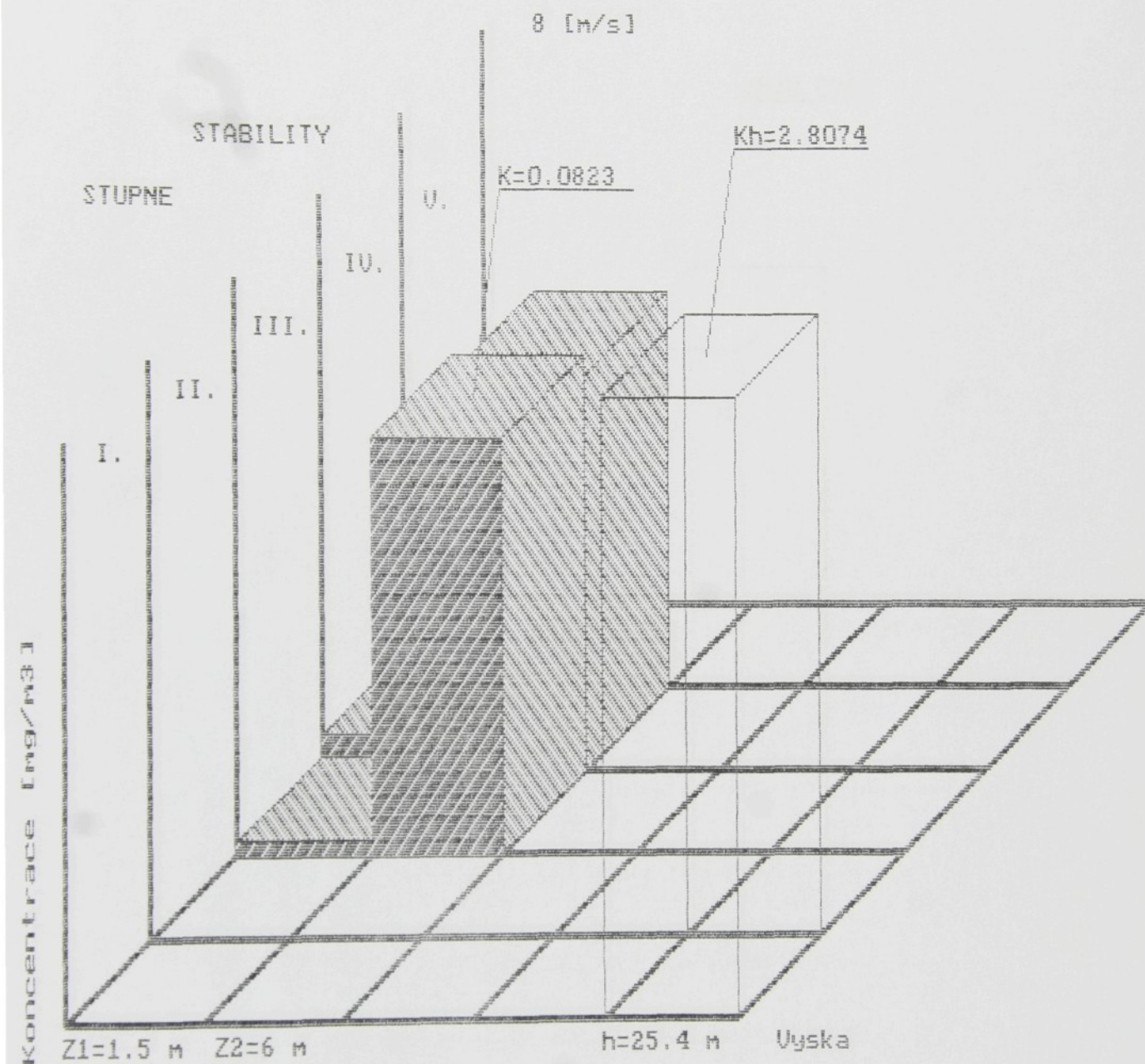
Zobrazena sit bodu jsou místa s pulhodinovou koncentrací škodlivin IHk větší nebo rovnou zadane hodnotě IHk. Zvýrazněné body znazornují osu vlečky, t. j. místa s největší koncentrací. Koncentrace jsou spočítány pro nejnepriznivější rychlost větru a pro 5 tříd stability. Z těchto pěti koncentrací se vybere největší. Takto vznikly obraz rozptýlu tedy znazornuje hranice všech nejnepriznivějších případů pro uvedenou rychlost větru.

Bod x1,z1 (pokud je zobrazen) představuje místo s nejnižší výškou vlečky s koncentrací alespoň rovnou hodnotě max. Bod x2,z2 je nejvzdálenější bod vlečky se stejnou podmínkou pro koncentraci a pro případ, kdy tato vlečka nenarazí na fasádu domu.

Graf rozložení koncentrací NO_x

$Q_k = 600$ [kW]
 $H = 8$ [m]
 $Bh = 165.9$ [Nm³/h]
 $X = 30$ [m]

PRO RYCHLOST VETRU

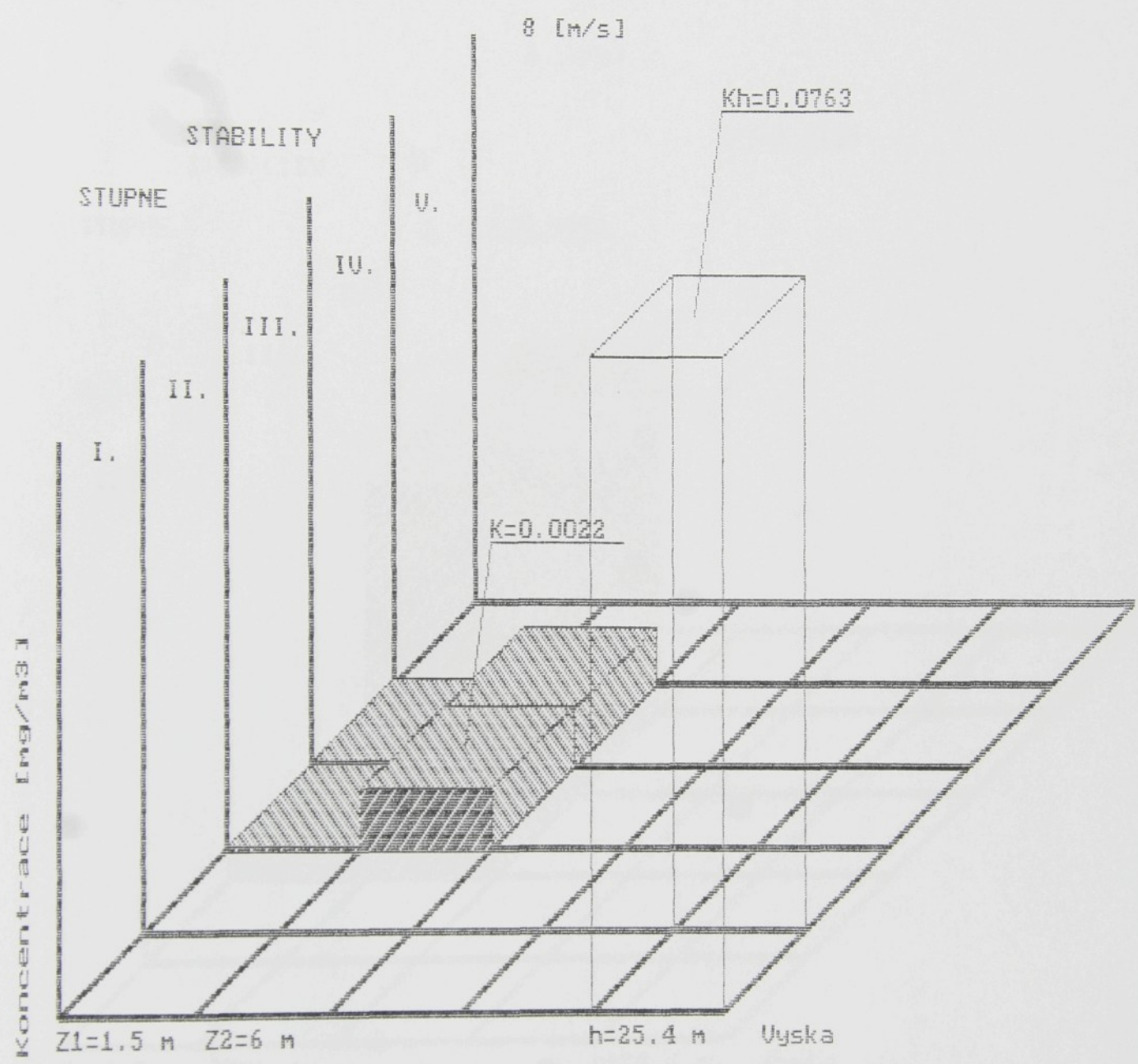


Největší koncentrace na fasádě domu je při rychlosti 8.0 m/s

Graf rozlozeni koncentraci SO2

Qk= 600 [kW]
H = 8 [m]
Bh= 165.9 [Nm3/h]
X = 30 [m]

PRO RYCHLOST VETRU

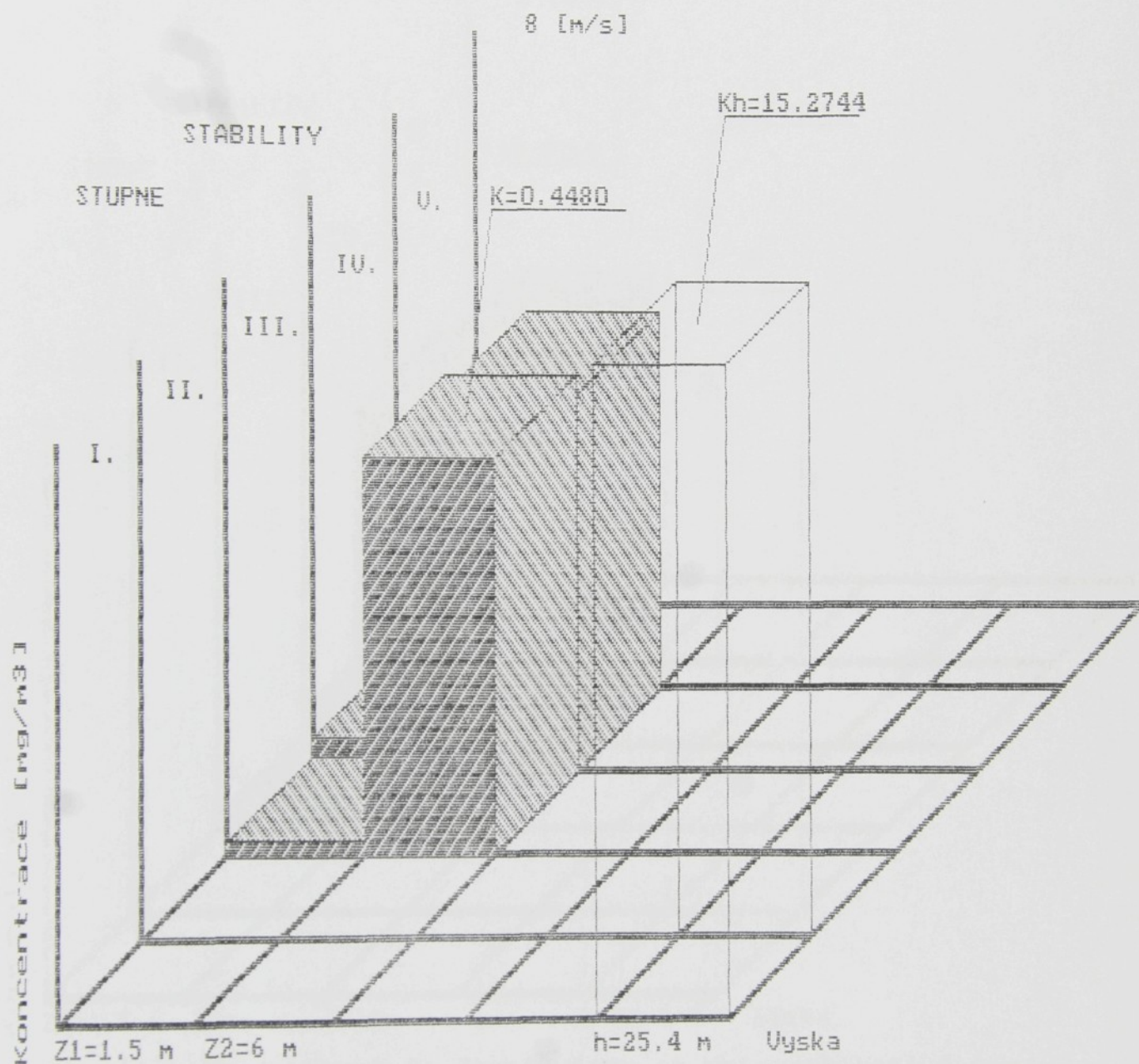


Nejvetsi koncentrace na fasade domu je pri rychlosti 8.0 m/s

Graf rozložení koncentraci tuhé látky

Qk= 600 [kW]
H = 8 [m]
Bh= 165.9 [Nm³/h]
X = 30 [m]

PRO RYCHLOST VETRU

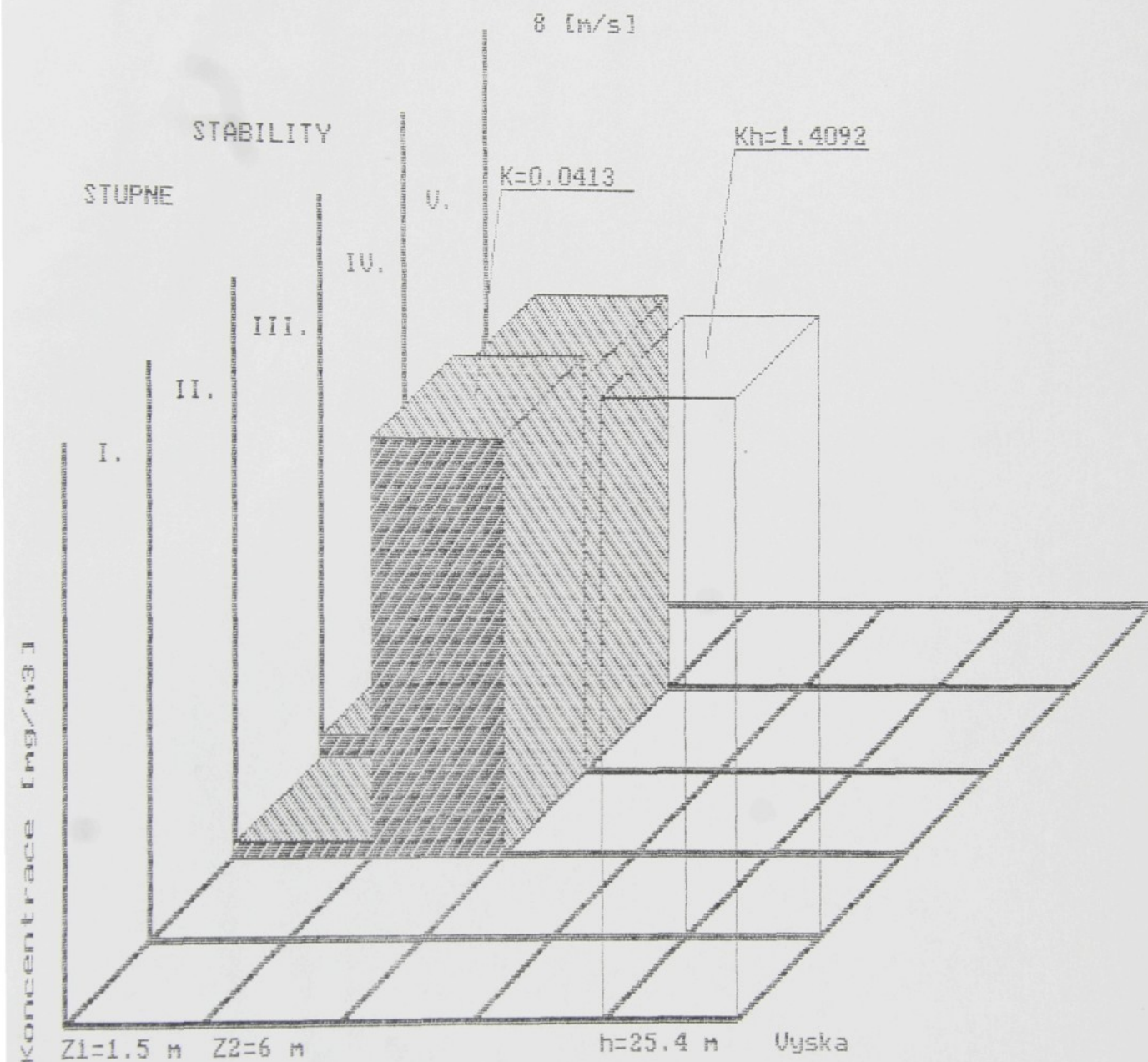


Největší koncentrace na fasádě domu je při rychlosti 8.0 m/s

Graf rozložení koncentrací CO

PRO RYCHLOST VETRU

Qk= 600 [kW]
H = 8 [m]
Bh= 165.9 [Nm³/h]
X = 30 [m]



Největší koncentrace na fasádě domu je při rychlosti 8.0 m/s