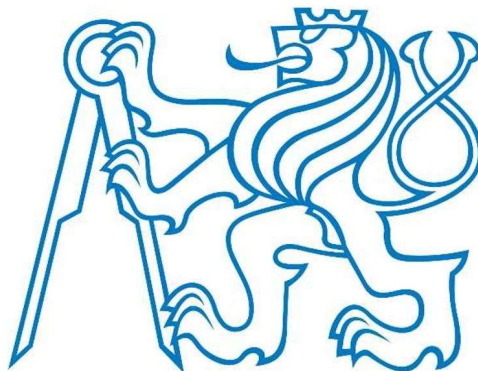


České vysoké učení technické  
v Praze  
Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Diplomová práce





ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vastl Jméno: František Osobní číslo: 423702  
Zadávací katedra: K124 Katedra konstrukcí pozemních staveb  
Studijní program: (N3649) Budovy a prostředí  
Studijní obor: (3608T006) Budovy a prostředí

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Aplikace uhlíkových vláken ve vysokohodnotném betonu pro mobiliář  
Název diplomové práce anglicky: Application of carbon fibers in high performance concrete for furniture  
Pokyny pro vypracování:  
Laboratorní a softwarové porovnání různých typů uhlíkové výztuže ve vysokohodnotném betonu a následná aplikace nevhodnějšího typu výztuže na konkrétní prvek


Seznam doporučené literatury:

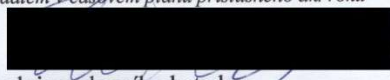
Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Ing. Petr Hájek, CSc., FEng.

Datum zadání diplomové práce: 10.10.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

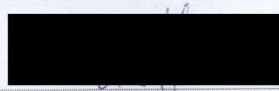
  
Podpis vedoucího práce

  
Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

16. 10. 2018  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)





## SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: František Vastl

Název diplomové práce: Aplikace uhlíkových vláken ve vysokohodnotném betonu pro mobiliář

Základní část: KFS podíl: 30 %

Formulace úkolů: Aplikace uhlíkových vláken ve vysokohodnotném betonu pro mobiliář, zpracování návrhů výroby materiálových komponentů.

Podpis vedoucího DP: ....

Datum: 12.10.2018

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: EXPERIMENTÁLNÍ podíl: 70 %

Konzultant (jméno, katedra): ING. TOMAŠ VLACH

Formulace úkolů: laboratorní ověření vlastností různých typů uhlíkových vláken ve vysokohodnotném betonu

Podpis konzultanta: .....

Datum: 12.10.2018

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

### Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1.stranou zadání již ve 2.týdnu semestru)





## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení katedry, zejména pana prof. Ing. Petra Hájka, CSc., FEng. a pana Ing. Tomáše Vlacha.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.







## **Poděkování**

Rád bych poděkoval fakultě, která mi umožnila vytvořit diplomovou práci. Jedná se o poskytnutí zázemí ve formě softwarového a laboratorního vybavení. Dále především děkuji panu prof. Ing. Petru Hájkovi, CSc., FEng. a panu Ing. Tomáši Vlachovi za vstřícné a profesionální vedení mé práce, kteří mě udržovali vždy ve správném směru tak, aby tato práce byla správně dokončena. Také děkuji mé rodině a přátelům, kteří mě podporovali, věřili a inspirovali, čímž mi dodávali odhodlání k dokončení diplomové práce.





# Aplikace uhlíkových vláken ve vysokohodnotném betonu pro mobiliář

## Application of carbon fibers in high performance concrete for furniture

Studijní program: (N3649) Budovy a prostředí

Studijní obor: (3608T006) Budovy a prostředí

Vedoucí práce: prof. Ing. Petr Hájek, CSc., FEng.





## **Anotace:**

Předmětem této diplomové práce je prozkoumat oblast použití uhlíkových vláken jako výztuž ve vysokohodnotném betonu za účelem dosažení co nejsubtilnějších prvků. Užší zaměření práce se týká typů a forem textilní, případně vlákenné výztuže, která bude co nejefektivněji spolupůsobit s vysokohodnotným betonem. Důležitá zkoumaná kritéria jsou: maximální využití průřezu vyztuženého prvku, spolupůsobení výztuže s betonem, náročnost technologie pro výrobu. Vyztužené prvky jsou laboratorně posouzené a porovnané s numerickým výpočtem. Závěrem práce je vyhodnocení nejvhodnějšího vyztužení a jeho aplikace na konkrétní prvek (mobiiliář).

**Klíčová slova:** *beton, vysokohodnotný beton, textilní beton, betonový nábytek, uhlíková výztuž, uhlíková vlákna, uhlíková textilie, subtilní desky, numerický model*

## **Annotation:**

The aim of this diploma thesis is to investigate the usage of carbon fibers as reinforcement in high performance concrete and to achieve the most subtle elements. The closer orientation of the work concerns types and forms of textile or fiber reinforcement that will co-operate most efficiently with high performance concrete. Important criteria for other investigation are: Maximum utilization of the cross-section of the reinforced element, the interaction of the reinforcement with the concrete, the complexity of the production technology. Reinforced elements were testing in laboratory and results were compared with a numerical calculation. The conclusion of the thesis is the evaluation of the most suitable reinforcement and its application to a particular element (furniture).

**Keywords:** *concrete, high performance concrete, textile reinforced concrete, furniture made of concrete, carbon reinforcement, carbon fiber, carbon textile, subtle slab, numerical model,*



## Obsah

<b>Seznam použitých betonářských pojmů .....</b>	<b>18</b>
<b>1 Úvod.....</b>	<b>20</b>
1.1 Cíl.....	21
<b>2 Rešeršní části .....</b>	<b>22</b>
2.1 Evoluce betonu k betonům vysokohodnotným .....	22
2.1.1 Počátky betonu a železobetonu .....	22
2.1.2 Ultra vysokohodnotný beton v ČR.....	25
2.2 Vysokohodnotný beton vyztužený textilií.....	27
2.2.1 Složení.....	27
2.2.2 Způsob uložení a ošetření.....	32
2.2.3 Vyztužování vysokohodnotného betonu .....	33
2.2.4 Užití TRC .....	34
2.3 Textilie textilbetonu .....	37
2.3.1 Struktura kompozitu.....	37
2.3.2 Vlákná kompozitu .....	39
<b>3 Analýza prvků z TRC .....</b>	<b>45</b>
3.1 Experimentální ověření .....	49
3.1.1 Výroba vzorků.....	51
3.1.2 Výsledky experimentu.....	53
3.1.3 Shrnutí .....	66
3.2 Matematická analýza prvků .....	71
3.3 Aplikace TRC.....	76
<b>4 Závěr.....</b>	<b>83</b>
<b>Použité zdroje .....</b>	<b>85</b>
<b>Použitý software .....</b>	<b>87</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>88</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>91</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>92</b>

**Seznam použitých symbolů a jednotek**

$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	objemová hmotnost materiálu
$\sigma$	[MPa]	napětí
$F_s$	[kN]	tahová síla ve výztuži
$A_s$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha výztuže v řezu
$A_f$	[mm]	plocha uhlíkových vláken
$A_m$	[mm]	plocha pojící matrice
$A_k$	[mm]	plocha kompozitu
$E$	[GPa]	modul pružnosti
$F$	[tex]	jemnost, délková hmotnost vláken
$W_f$	[-]	hmotnostní podíl
$\rho_f$	[g/cm <sup>3</sup> ]	hustota vlákna
$\rho_c$	[g/cm <sup>3</sup> ]	hustota matrice
$v_f$	[-]	objemový podíl
$F_c$	[MPa]	požadovaná třída betonu
$a_k$	[-]	součinitel kvality kameniva
$w/c$	[-]	vodní součinitel
$R_c$	[MPa]	pevnostní třída cementu
$\psi_{\square}$	[-]	součinitel kameniva
$\rho_{ka}$	[kg/m <sup>3</sup> ]	objemová hmotnost kameniva
$P_i$	[-]	hmotnostní podíl i-té frakce
$D_i$	[mm]	velikost horního síta i-té frakce
$C$	[mm]	krycí vrstva
$b$	[mm]	šířka posuzovaného průřezu
$h, c$	[mm]	výška posuzovaného průřezu
$d$	[mm]	účinná výška průřezu
$d_{prům}$	[mm]	průměrná účinná výška průřezu
$d_l$	[mm]	vzdálenost osy výztuže od bližšího povrchu průřezu
$x_c$	[mm]	výška tlačené oblasti betonu
$\varepsilon_{cu}$	[-]	poměrné přetvoření betonu (závislé na typu betonu)
$\varepsilon_{sy}$	[-]	poměrné přetvoření tahové výztuže
$\eta$	[-]	součinitel tlakové pevnosti betonu



$\lambda$	[-]	součinitel definující účinnou výšku tlačené oblasti
$f_{cd}$	[MPa]	návrhová pevnost betonu
$f_{yd}$	[MPa]	návrhová pevnost výztuže
$Z_c$	[mm]	rameno vnitřních sil
$m_{Rd}$	[MPa]	maximální únosnost prvku v posuzovaném průřezu
$\tau_{cp}$	[MPa]	smykové napětí v průřezu
$K$	[-]	součinitel závislý na příslušném státě
$V_{Ed}$	[kN]	posouvající síla v posuzovaném průřezu
$A_{CC}$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha betonového průřezu
$f_{cvd}$	[MPa]	smyková pevnost betonu
$f_{ctd,pl}$	[MPa]	návrhová pevnost betonu v tlaku
$\sigma_{cp}$	[MPa]	tlakové napětí v betonu
$f_{ctk;0,05}$	[MPa]	charakteristická pevnost betonu v tlaku
$\gamma_C$	[-]	dílčí součinitel spolehlivosti betonu
$N_{Ed}$	[kN]	normálová síla v posuzovaném průřezu
$\sigma_k$	[MPa]	maximální únosnost kompozitu
$\sigma_c$	[MPa]	maximální únosnost betonu
$A$	[mm <sup>2</sup> ]	zatěžovací plocha
$F$	[kN]	síla
$M$	[KNm]	ohybový moment
$W$	[m <sup>3</sup> ]	průřezový modul
$m$	[kg]	hmotnost
$l$	[mm]	délka
$\sigma_p$	[MPa]	tlaková pevnost
$\sigma_b$	[MPa]	ohybová pevnost
$V$	[m <sup>3</sup> ]	objem
$V_{max}$	[kN]	maximální posouvající síla
$M_{max}$	[kN]	maximální ohybový moment
$C^\circ$	teplota	
$\mu m$	délková jednotka mikrometr 0,001 mm	
$K$	počet tisíců vláken v rovingu	





<i>ŽB</i>	železobeton
<i>LC</i>	lehký beton (Light Concrete)
<i>HSC</i>	vysokohodnotný beton (High Strength Concrete)
<i>HPC</i>	vysokopevnostní beton (High Performance Concrete)
<i>TRC</i>	textilní beton (Textile Reinforced Concrete)
<i>UHPC</i>	ultra vysokopevnostní beton (Ultra High Performance Concrete)
<i>GFRC</i>	beton vyztužený skleněnými vlákny (Glass fiber reinforced concrete)
<i>Kce</i>	konstrukce
<i>MSP</i>	mezní stav použitelnosti
<i>UCEEB</i>	Univerzitní centrum energeticky efektivních budov



## Seznam použitých betonářských pojmů

<i>krycí vrstva</i>	vrstva, která zajišťuje spolupůsobení betonu s výztuží a chrání výztuž před okolními vlivy
<i>frakce kameniva</i>	směs kameniva určité velikosti, které propadlo sítem, ale už nepropadlo sítem následujícím; určení pomocí sady sít
<i>hydratační teplo</i>	teplo vznikající při tuhnutí, tvrdnutí betonu
<i>vodní součinitel</i>	hmotnostní poměr vody k cementu v záměsi
<i>záměs</i>	množství betonové směsi zamíchané v jednom cyklu v míchačce
<i>matrice</i>	pojivo neboli pryskyřice textilních vláken, vlákna spolu s matricí tvoří kompozit [1, p. 15]
<i>roving</i>	jednosměrný svazek nekonečných textilních vláken, bez nebo s minimálním zákrutem; termín je z textilní terminologie [2]
<i>filament</i>	umělé vlákno o nekonečné délce [3]
<i>kompozit</i>	spojení dvou a více materiálů, které spolu tvoří ve výsledku materiál takových vlastností, který jednotlivé komponenty nemají
<i>plastické smrštění</i>	důsledek úniků vody ještě před začátkem hydratace [4]
<i>autogenní smrštění</i>	důsledek hydratace vody a cementu, $V_{\text{voda}} + V_{\text{cement}} \neq V_{\text{zhydr.cem.}}$ [4]
<i>prekurzor (prekursor)</i>	označuje v chemii sloučeninu, která se účastní chemické reakce, kdy vzniká jiná sloučenina [5]
<i>ablace</i>	ztrácení vlastní hmoty různými účinky [6]





## 1 Úvod

Betonové konstrukce nejsou pro dnešní společnost nic neznámého. Ve 20. století betonové konstrukce zažily velký boom. Vzkvétala výstavba panelových i monolitických domů a celých komplexů. Betonové stavby se nám pevně vryly do moderního uvažování o návrhu staveb. Umožňují nám tvořit architekturu, kterou bychom těžko zvládli tradičními materiály. Na první pohled se může zdát, že betonové konstrukce jsou posledních 50 let stále stejné. Lidé vnímají beton jako směs plniva, pojiva a vody. Avšak není tomu tak, beton urazil velkou cestu. Nejedná se pouze o různé receptury pro betonové směsi, ale čím dál tím více se objevují nové výztužné prvky, které se pokoušejí nahradit tradičně používanou betonářskou ocel. Nové výztužné materiály svými vlastnostmi překonávají ocel, ale jejich použití v praxi je stále mizivé. Je důležité si uvědomit, že kvalita a vlastnosti použitých materiálů pro výztuže musí být úměrná vlastnostem betonové směsi. Dnešní vysokopevnostní betony dosahují už takových pevností, že použití tradiční ocele přestává být efektivní. Náhradu je možné hledat v nových kompozitních materiálech, zejména v uhlíkových, skelných, Kevlarových vláknech, spojených pryskyřičnou hmotou. Dnes tyto materiály známe a jsou nám k dispozici. Doba, kdy na uhlíkové tkaniny dosáhl jen kosmický průmysl, je pryč.

Tato práce prozkoumává oblast využití moderních vysokohodnotných betonů, vyztužených uhlíkovými vlákny v segmentu drobných nenosných konstrukcí, zejména mobiliáře, bytových doplňků atd. Práce klade důraz na maximální využití nových materiálů a to zejména zvolení vhodného typu vyztužení pro konkrétní typ betonové směsi.

Je potřeba provést návrh výztuže tak, aby její pevnostní potenciál byl využit na 100%. Pokud tak nebude provedeno, vstupní finanční náklady nikdy nedokážou konkurovat již tradičním železobetonovým konstrukcím.



## 1.1 Cíl

Zaměření této diplomové práce je prozkoumat oblast vyztužování vysokohodnotného betonu uhlíkovými vlákny. Práce se zabývá zkouškami několika typů uhlíkových výztuží ve formě různých tkanin a rovingů. Je snaha docílit maximální efektivity spolupůsobením mezi betonem a výztuží a tím eliminovat zbytečné tloušťky konečného prvku. Celý tento výzkum je zacílen do sektoru mobiliářů, u kterých malá tloušťka hraje velkou roli, jak estetickou, tak praktickou. Malá tloušťka znamená malou hmotnost. Po vyhodnocení výsledků je aplikována nejvhodnější uhlíková výztuž do koncového prvku mobiliáře.

V celé práci se pracuje se stejnou recepturou betonu, která byla vyvinuta na půdě UCEEB (Univerzitní centrum energeticky efektivních budov). Tím, že probíhá práce se stejným betonem, odpadá nejistota měření v závislosti na betonu. Také lze vycházet z dřívějších poznatků a tudíž použít dříve naměřené materiálové vlastnosti.



## 2 Rešeršní části

### 2.1 Evoluce betonu k betonům vysokohodnotným

Obecná definice popisuje beton jako umělý kámen, neboli slepenec, který nabývá tvaru dle formy, do které je čerstvá směs vylita. Je tvořena 3 složkami - vodou, pojivem a plnivem. Dnešní moderní betony jsou tvořeny z 5 složek: vody, pojiva, plniva, příměsí a přísad.

Vysokohodnotný beton je beton, který nabývá lepších vlastností než beton běžný. Často se setkáváme s pojmem vysokopevnostní beton. Tento pojem není zcela relevantní. Pokud beton nese označení vysokopevnostní, má především vysokou pevnost, ale s tím nabývají vlastnosti další (mrazuvzdornost, životnost, propustnost vody). Proto se nejedná jen o beton vysokopevnostní, ale o beton vysokohodnotný. [7]

#### 2.1.1 Počátky betonu a železobetonu

Pokud se vydáme na počátek prvních betonů, musíme se vrátit do dob starověku, do doby Féníčanů. Jejich stavby z dob 1000 l. př. n. l. se dochovaly do dnešní doby (vodní nádrže, přivaděče). Však zdali jsou opravdu první, nelze v dnešní době zatím prokázat. Je možné, že umění používat beton se naučili již od starších civilizací.

Na používání betonu navazovaly další velké říše, např. Řekové používali beton (nazývaný se emplekton) jako výplňový materiál mezi dvě kamenné stěny, také Římané používali beton pro své stavby (Panteon). Tento beton byl složen převážně ze směsi vápna, drcených cihel a sopečného tufu. Právě sopečný tuf zastával funkci pojiva, které prošlo sopečným procesem. Řekněme, takový předchůdce cementu.

Až v 18. st. se podařilo uměle vyrábět hydraulické pojivo a objevovat jeho fyzikální a chemické vlastnosti. V 19. století se jednotlivé složky zdokonalovaly a objevil se první vyztužený beton od J. Moniera. [8]

#### Start ve 20. století

Na začátku 20. stol. byl beton stále uvažován jako druhotný materiál používaný pro základové konstrukce, ochrana oceli před požárem, či pro podlahy. Jen zřídka se objevoval jako hlavní konstrukční materiál. Hlavním nosným prvkem byla stále ocel. To se



začalo měnit v druhé polovině 20. stol. v USA. V 60. letech v oblasti Chicaga se skupina projektantů rozhodla posunout betonové konstrukce na další úroveň. Chtěli ukázat, že použití vyšších pevností má smysl, jejich záměr byl navýšit pevnost dvojnásobně z pevností 15 – 30 MPa (běžně používané v té době) na 60 MPa. Řadoví projektanti neměli důvod používat beton vyšších pevností. Používané pevnosti byly dostačující. Zároveň nebyli zvyklí pracovat s novým typem betonu a neviděli důvod, proč by měli začít.

Beton o dvojnásobných pevnostech se podařilo skupině projektantů protlačit tak, že při stavbě nové budovy na své náklady vybetonovali malý zlomek sloupů - 1 až 2 z vysokopevnostního betonu. Investoři viděli uspořený prostor zejména v suterénních částech. Netrvalo dlouho a tento typ betonů byl vyžadován. [7, p. 22]



*Obr. 1: Lake point Tower 1965  $f_c = 53$  MPa, převzato z [P.-C. Aïtcin, Vysokohodnotný beton]*

[7]

Další skok přichází počátkem 70. let, kdy se na scénu protlačují superplastifikátory, které díky svým vlastnostem převyšují plastifikátory. Superplastifikátory umožňují zvýšit dávky oproti plastifikátorům, které při velké dávce způsobovaly napěnění. Prvotní důvod zvýšení dávek bylo ztekutit směs pro lepší manipulaci a ukládku. Až v 80. letech se na úkor zvyšování dávek superplastifikátorů začala snižovat dávka vody. Ukázalo se, že snížením vodního součinitele i na 0,30 lze zachovat velmi vysokou tekutost směsi (sednutí kužele 200 mm a více), což s plastifikátory nebylo možné. Umožňovaly pouze 75–100 mm sednutí kužele. Snížený vodní součinitel poukázal především na vysoké zvýšení pevnosti.



V průběhu 80. let se do trendu snižování vodního součinitele zapojují jemné částice. Křemičitý úlet, popílek a další jemné částice, které zaplňují prostor mezi zrny cementu. Tyto materiály byly odpadem z průmyslové výroby a ve 2. pol. 20. stol. začíná být kladen důraz na ochranu přírody. Zejména křemičitý úlet, který byl hojně vypouštěn do ovzduší při výrobě křemíku, musel být pečlivě filtrován. Jemný prach, který vytvářel jen potíže, našel uplatnění jako příměs ve vysokohodnotném betonu.

S příchodem 90. let se zájem o vysokohodnotné betony začíná zvedat a velké výzkumné organizace ho zařazují do svého výzkumu.

S příchodem 21. stol. je vysokohodnotný beton již dobře známý. Technologie výroby a přepravy je na úrovni použitelnosti. I ekonomické faktory přejí použitelnosti vysokohodnotného betonu. Ale i přesto se zdá, že jsme opět v 60. letech, kdy pro většinu inženýrů bylo jednodušší a spolehlivější navrhovat budovy z betonů, které dobře znali.

Rok	$f_c$ [MPa]	Zdroj/Ref.	Název	Poznámka
1981 až 1983	120 až 250	Bache, Hjort, Dánsko	DENSIT, COMPRESSIT	Malta a beton s běžným ošetřováním, s mikrosilikou
1980	120 až 150	Bache, Jennings, Aitcin, Dánsko, USA, Canada	DSP (Densified Small Particles)	Lepší vyplnění prostoru, mikrosilika, superplastifikátory
1980	210	Lankard, Naaman, USA	SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber Concrete)	Jemná malta s vysokým obsahem ocelových vláken (8 až 15 % obj.)
1994	>150	De Larrard Francie	Ultra High Performance Concrete (UHPC)	Optimalizované složení kameniva s velmi jemnými částicemi
1995	do 800	Richard, Cheyrezy, Francie	RPC (Reactive Powder Concrete)	Pasta a beton, tepelné a tlakové ošetřování, plná struktura
1998 a dále	200	Lafarge (Charvillat, Rigaud, Behlou), Francie	Ductal	90 °C tepelné ošetřování, ocelová vlákna 6 %, hotová směs, v prodeji
2000	200	Rossi et al., Francie	CEMTEC, CEMTEC – Multiscale	Do 9 % vláken hybridní kombinace
2005	140	Karihaloo, Velká Británie	CARDIFRC	Optimalizovaná struktura a proces míchání
2004	>150	Fehling, Schmidt, Německo	1. symposium o UHPC	Mnoho receptur podobných jako Ductal
2005	200	Jungwirth, Švýcarsko	CERACEM	Receptura podobná jako Ductal, větší vlákna, větší zrna kameniva
2005		Schmidt, Německo	Udržitelná výstavba s UHPC	Iniciativa DFG (Deutsche Forschungs Gemeinschaft) 2005 až 2012
2011	>150	Accorsi, Meyer, USA	UHPC Workshop	1. US Workshop
2011	do 290	Wille, Naaman	UHP-FRC	Bez tepelného ošetřování, optimalizovaná struktura, přímá tahová zkouška
2011			ACI UHPC Committee 239	1. schůzka říjen 2011
2012	>150	Fehling, Schmidt, Německo	3. symposium o UHPC	

Obr. 2: Vývoj a směry vysokohodnotného betonu, převzato z [J. L. VÍTEK a R. COUFAL, „VYSOKOPEVNOSTNÍ BETONY,“ BETONOVÉ KONSTRUKCE 21. STOL] [9]





### 2.1.2 Ultra vysokohodnotný beton v ČR

První použití UHPC (Ultra High Performance Concrete) pro nosnou kci v ČR se uplatnilo v roce 2013 v Čelákovících. Jednalo se o zavěšený most o třech polích. Most je určen pro pěší, cyklisty a eventuálně pro lehké údržbové vozidlo do 3,5 t. Most drží také rekord nejdelšího zavěšeného pole 156 m v ČR. Most je tvořen dvěma pylony do tvaru písmene A o výšce 37 m a zavěšenou mostovkou rozdělenou do 3 polí (43m, 156m, 43m). [10]



*Obr. 3: Most v Čelákovících, převzato z [M. KALNÝ, J. KOMANEC, J. VÍTEK, V. KVASNIČKA, R. BROŽ, KOUKOLÍK, Petr a R. COUFAL, „LÁVKA PŘES LABE V ČELÁKOVICÍCH - PRVNÍ NOSNÁ KONSTRUKCE Z UHPC V ČR,“ BETON] [10]*

Segmentová mostovka je kompletně tvořena z prefabrikovaných dílců o návrhové pevnosti betonu C100/130 s rozptýlenou výztuží, reálná pevnost je však vyšší. Odpovídá pevnosti C130/150. Aplikace UHPC umožnila použít velice subtilní mostovku s příčnými žebry. Mostovka dosahuje tloušťky pouhých 60 mm. [10]





## 2.2 Vysokohodnotný beton vyztužený textilií

Nejprve je důležité charakterizovat vysokohodnotný beton. Přesně definované hranice pro vysokohodnotné betony neexistují. Obecně se používají hodnoty 60 MPa a 150 MPa. Dá se předpokládat, že do budoucna se tyto hranice budou měnit. Do zmíněných 60 MPa se jedná o beton běžných pevností, které lze navrhovat dle normy Eurokod 2. Nad pevnost 60 MPa se beton stává vysokohodnotným. Setkáváme se velmi často se zkratkou HPC (High Performance Concrete), která pochází z Ameriky a do terminologie již zakořenila. V této kategorii lze stále navrhovat dle normy Eurokod 2 a to do krychelné pevnosti 100 MPa. Při použití betonu vyšších pevností lze využít Model Code fib 2010, který řeší návrh betonu do krychelné pevnosti 120 MPa. Pro návrhy konstrukcí s použitím betonu vyšších pevností nežli 120 MPa není definováno normou. Poslední hranice 150 MPa mění značení z HPC na UHPC (Ultra High Performance Concrete). Tento typ betonů již nemá stanovenou horní hranici a téměř se nedá vyrobit bez přidaných vláken. [9]

### 2.2.1 Složení

Pro zajištění výsledné kvality a pevnosti je důležité, aby byl dodržen přesný technologický postup při výrobě. Vysokohodnotný beton nevznikne s použitím speciálních materiálů, ale z materiálů běžně dostupných a používaných. Rozdíl tkví ve správném složení směsi, tj. ve výběru kvalitních vstupních surovin z pohledu preferenčních vlastností a stáří materiálu. Dále v přesném postupu smíchání vstupních složek a v době míchání, uložení, ošetření směsi atd.

#### Návrh směsi

Je několik návodů, jak vytvořit vhodný beton. Veškeré vzorce však přibližují k požadované směsi, kterou je potřeba následně laboratorně doladit. Nelze zahrnout veškeré vlivy při návrhu směsi. Jedná se o stáří složek, teplotu, vlhkost vzduchu, uložení, míchání směsi atd.



Bolomeyova metoda vodního součinitele - poměrně zastaralá metoda. Vznikla na počátku 20. stol. a je používána pro běžné betony. Princip je založen na vodním součiniteli 0,4 – 0,7 a kvalitě kameniva. [11]

$$\frac{w}{c} = \frac{1}{\frac{f_c}{a_k \cdot R_c} + 0,5}$$

Obr. 5: Stanovení vodního součinitele [11]

$F_c$  – požadovaná třída betonu

$a_k$  – součinitel kvality kameniva (0,4 ≤  $a_k$  ≤ 0,7 kvalitnější kamenivo)

$R_c$  – pevnostní třída cementu

$w/c$  – vodní součinitel

Při dosazování lze vidět, že vzorec je postaven tak, že úměrně roste množství cementu s očekávanou rostoucí pevností betonu. Pevnostní třída cementu a kvalita kameniva tuto úměru pouze korigují.

Kennedyho metoda stanovení tloušťky cementové vrstvy – vznikla v polovině 20. stol. Aplikace je možná pro betony do 100 MPa. Princip metody je založen na snížení vodního součinitele 0,35 – 0,7 a na kvalitě kameniva. Výpočet uvažuje druh, velikost, typ kameniva a na základě vstupních údajů se vypočítává potřebné množství cementového tmelu na obalení zrna kameniva v určité tloušťce. [11]

$$s_k = 90 * \frac{\psi_k}{\rho_{ka}} * \sum \frac{p_i}{d_i} [m^2/kg]$$

Obr. 6: Stanovení měrného povrchu kameniva [11]

$\psi_k$  – součinitel kameniva (těžené drcené (těžené 1,1, drcené 1,5)

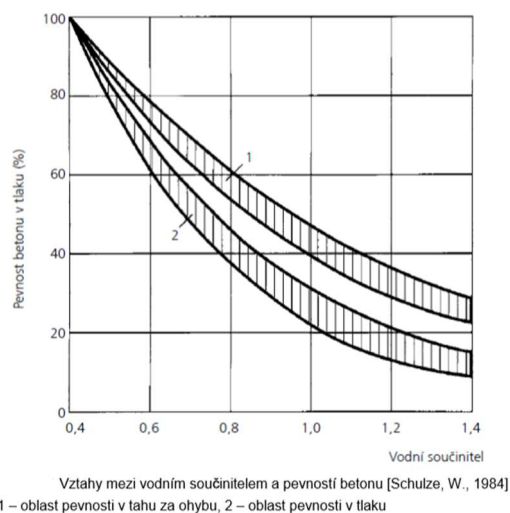
$\rho_{ka}$  – objemová hmotnost kameniva [kg/m<sup>3</sup>]

$P_i$  – hmotnostní podíl i-té frakce (větší než 0,25)

$D_i$  – velikost horního síta i-té frakce

### Vodní součinitel

Množství vody v záměsi je pro výslednou pevnost betonu alfou a omegou. Dávka vody je dána poměrem hmotnosti vody k hmotnosti cementu, aby cement plně hydratoval, je potřeba minimální vodní součinitel 0,4, některé literatury uvádí hodnoty nižší (0,23-0,25). Takto nízké množství vody neumožňuje dobrou zpracovatelnost betonové směsi bez přidání superplastifikačních přísad. Hodnotu můžeme považovat i jako hranici pro vysokohodnotné betony. Dnes se používají vodní součinitelé i pod hranicí 0,40. Důsledkem toho nemůže všechen cement zhydratovat a stává se vyplňující složkou. Studie ukazují, že tento přístup umožní navýšit pevnost betonu. Otázkou však zůstává, zda tento přístup zůstává nadále ekonomicky přípustným. Druhý, dnes čím dál tím více důležitý parametr, je poměr vody a jemných částic. Některé typy jemných částic působí s cementem jako hydraulické pojivo a je potřeba vzít v úvahu i jejich podíl. [7]



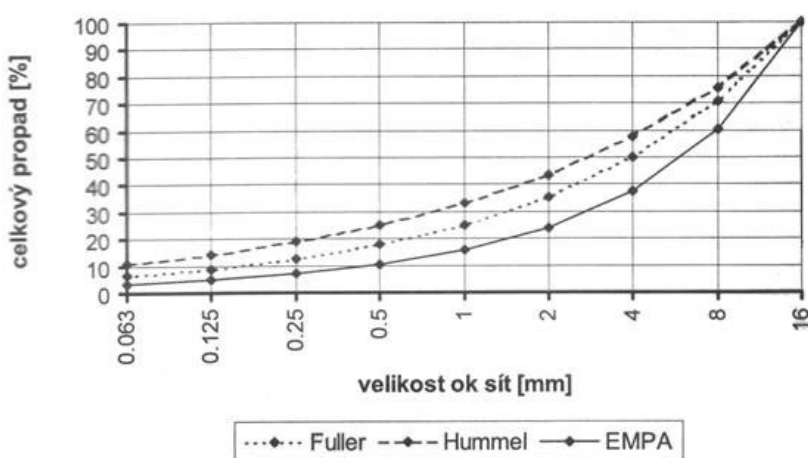
Obr. 7: Vliv vodního součinitele na pevnost betonu, převzato z [M. PAVLÍKOVÁ, Z. PAVLÍK a J. HOŠEK, *Materiálové inženýrství I*] [12, p. 448]

### Plnivo – kamenivo

Složka, která musí úměrně odpovídat pevnosti budoucího betonu. Porušení betonu vždy závisí na nejslabším místě ve vzorku. A proto je důležité věnovat pozornost výběru vhodného kameniva. Vysokých pevností 120 – 300 MPa dosahují horniny sopečného původu (žula, syenit, gabro, diorit, diabas), extrémních pevností tavený čedič - až 700 MPa

nebo jadeit, dosahující přes 900 MPa. Ovšem takto velké pevnosti často bývají vykoupené vysokou pořizovací cenou kameniva. [13] [14]

Velikost zrna kameniva – pokud použijeme zrno většího průměru, sníží se nám měrný povrch záměsi a tudíž není potřeba tolik vody pro záměs. Lze tedy říci, že větší průměr zrn umožní lepší zpracovatelnost betonu. Ale velká zrna přinášejí nejasné pevnostní vlastnosti. Kamenivo je přírodního původu a nelze očekávat homogenní vlastnosti v celém vzorku. Vzorek může obsahovat drobné praskliny či stopy jiného prvku. Pokud zrno zmenšíme, snížíme tím pravděpodobnost výskytu nějakého poškození, které nám snižuje pevnost. Menší zrno lze snadněji kategorizovat z hlediska pevnosti. Výsledná velikost zrn není jednotná. Zpravidla se používá několik frakcí, nižší frakce vyplňuje frakci vyšší. Graficky se jedná ideálně o exponenciální funkci. Maximální velikost zrna se pohybuje kolem 10 mm, ale závisí na tom, kde bude beton aplikován. V této diplomové práci se pracuje se vzorky do tloušťky 20 mm, a tedy použití takto veliké frakce do vyztuženého vzorku je nepřijatelné. [7, pp. 125-127]



Obr. 8: Křivka zrnitosti, převzato z [Hornicko geologická fakulta, „Vodohospodářské zařízení I,“ Vysoká škola Báňská] [15]

Tvar zrna – velikost i tvar jsou důležité pro konečnou pevnost betonu. Nejvhodnější tvary jsou kubické s poměrem stran 1:1. U nesymetrických zrn typu destičky, jehličky hrozí, že se vzájemně zaklíní a vytvoří prostor pro vzduchové póry. Také zrna destičkového typu bývají často porušena mikrotrhlinami. A tudíž jsou křehké.

## Cement

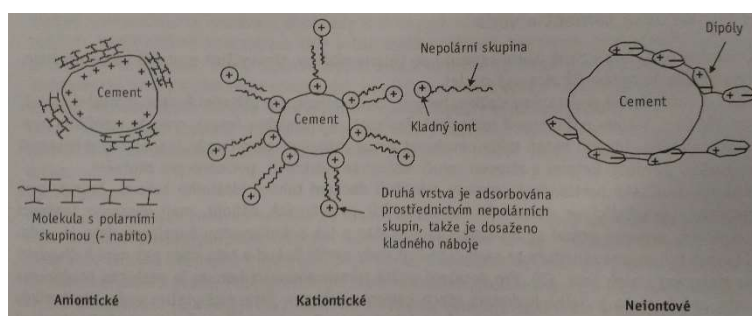
Zajišťuje spojení všech použitých složek. Cement je hydraulické pojivo a po procesu hydratace ho již nelze uvést do tekuté fáze. Základní chemické složení cementu je z prvků  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Konečné vlastnosti vždy závisejí na určitém poměru uvedených prvků.

V dnešní době jsou složky již dobře vyváženy. Ale abychom docílili maximální pevnosti, je potřeba dodat cementu vhodné množství vody. Cement obsahuje velké množství nenasyčených nábojů, které shlukují cementová zrna. Jejich shluk dále podpoří polarizovaná voda. Tyto jevy nás nutí dodat cementu větší množství vody, než je potřeba k hydrataci cementu. Důsledkem přebytku vody jsou zanechané vzduchové póry po odparu vody.

[7, p. 79]

## Plastifikátory a superplastifikátory

Jedna z mnoha hojně používaných přísad, jejímž úkolem je snížit vodní součinitel a zajistit dobrou zpracovatelnost betonové směsi. Jejich dávka je vždy závislá na množství cementu v záměsi. Princip plastifikačních přísad spočívá v redukci náboje na povrchu cementových zrn a omezit tak jejich flokulaci. Z chemického pohledu lze přísady dělit na aniontické, kationtické a neiontové. Aniontické a kationtické přísady obsahují na konci řetězce výrazný náboj, který neutralizuje opačné elektrické náboje na povrchu cementového zrna. Neiontové přísady obsahují molekuly jako dipóly, které obalí zrno cementu. Ve výsledku se jednotlivá zrna vzájemně odpuzují. [7, pp. 79-80]



Obr. 9: Typy plastifikačních přísad, převzato z [P.-C. Aitcin, Vysokohodnotný beton] [7, p. 80]

První plastifikační přísady byly organického typu na bázi sacharidů, lignosulfátů. Vyráběly se z odpadu papírenského průmyslu. Tyto přísady byly složité na dávkování. Větší



dávka působila jako retardér, způsobena sacharidy. Touto metodou je možné snížit dávku vody o 10%. Ekvivalentem jsou používané látky na bázi sulfonovaných formaldehydů, naftalenů a melaninů, které neobsahují sacharidy jako zmíněné lignosulfáty. Tyto přísady se řadí mezi superplastifikátory. [7, pp. 79-80]

### **Přísady a příměsi**

Další složky, které upravují záměs nebo finální beton, jsou přísady a příměsi. Přísady upravují vlastnosti záměsi, např. plastifikátory, urychlovače tuhnutí, zpomalovače tuhnutí, stabilizátory. Příměsi opět používáme pro vylepšení určitých vlastností. Příměsi dělíme na inertní a hydraulické. Inertní se nezúčastňují hydratace a mohou být ve formě pigmentu nebo jemných prášků (fillerů). Hydraulické přispívají k hydrataci, a tudíž snižují množství použitého cementu a zlevňují beton, avšak samy hydratovat nedokážou. Hydratace se vybudí až při hydrataci cementu. Zástupci hydraulických přísad jsou popílky, křemičité úlety.

#### **2.2.2 Způsob uložení a ošetření**

Uložení vysokohodnotného betonu závisí na navržené směsi, betony jsou většinou velmi tekuté, samozhutnitelné a není třeba aplikovat vibrační nástroje. Podstata těchto betonů je ve vysoké tekutosti, která zamezuje vzniku pórů. Příčinou vysoké tekutosti je použití velkého množství plastifikačních přísad. Při ukládce směsi je důležité počítat s dobou působení těchto přísad.

Riziko vzniku trhliny u vysokohodnotného betonu je podstatně vyšší v rané fázi zrání, než u betonů běžných, u kterých používáme vysoký vodní součinitel nad 0,4. Betony běžné jsou náchylné na smrštění vlivem odparu vody. Naopak betony s vodním součinitelem pod 0,4 jsou náchylné na smrštění autogenní. Na začátku hydratace mají běžné betony dostatek vody pro probíhající hydrataci a mohou čerpat vodu z pórů. Větší poréznost usnadňuje rychlejší odpar vody z betonu. Následně odvod vody z velkých pórů a poté odvod z malých pórů může zapříčinit plastické smrštění. Proto bychom měli u běžných betonů dbát na zvlhčování povrchů po delší dobu, nežli u betonů vysokohodnotných a zamezit tak jejich přílišnému vysychání jak povrchu, tak vnitřku. Naproti tomu vysokohodnotné betony jsou





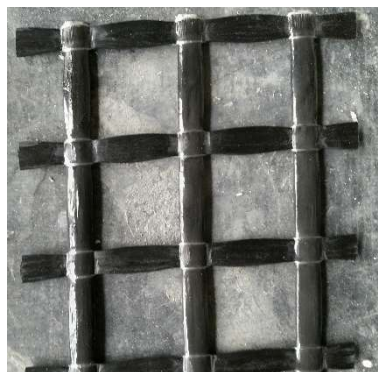
choulostivé na odpar vody převážně z povrchů. Jejich menší pórovitost nedovolí vysoký odpar vody z vnitřku betonu. [7, pp. 194-195]

### 2.2.3 Vyztužování vysokohodnotného betonu

Při vyztužování vysokohodnotného betonu je potřeba uvážit, pro jaký typ kce bude vyztužení použito. Klasická betonářská ocel přestává být vhodná pro vyztužení. Největší omezení oceli je její vlastnost korodovat za přítomnosti vody a omezená pevnost. Je tedy zapotřebí opatřovat výztuž krycí vrstvou. Krycí vrstva znamená větší tloušťku a více materiálu. Jelikož vysokohodnotné betony jsou nesrovnatelně dražší než betony běžné, je zapotřebí využít maximálně veškerou použitou hmotu. Zejména u městského mobiliáře velké tloušťky znamenají nepřijatelnou estetickou překážku. Řešení snížení tloušťky a zachování nebo zvýšení únosnosti představují kompozitní nebo jiné výztužné materiály místo oceli. Nové moderní materiály převyšují pevností betonářské oceli a nekorodují při styku s vodou.

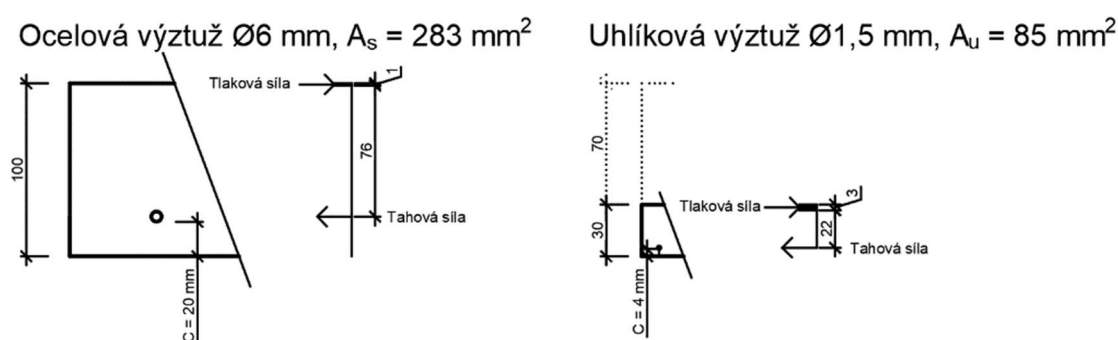
#### **Textilbeton – beton vyztužený textilní výztuží TRC (Textile Reinforced Concrete)**

Jedná se o beton vyztužený nekovovou výztuží. Výztuha může být v mnoha formách. Nejčastěji se vyskytuje ve formě sítí, rozptýlených vláken, tkaniny. Sítě jsou dvourozměrné s oky například 20 x 20 mm nebo trojrozměrné se stejným rastrem ok. Společné pro sítě je, že jsou tvořeny z kompozitního materiálu. Skládají se z nosné vložky a pojící matrice. Křehká, vysoce pevná vlákna jsou pojena a chráněna matricí. Výsledný synergický efekt způsobuje, že spojené materiály vykazují vyšší pevnosti, nežli součet pevností obou materiálů.



*Obr. 10: Uhlíková vlákna pojena epoxidovou pryskyřicí (matricí)*

Jak už bylo zmíněno v předcházejících kapitolách, aby byl využit potenciál vysokohodnotného betonu, je potřeba přistupovat k návrhu s rozvahou a používat vhodné výztuže vysokých pevností. Viz. Obr.11 znázorňuje prostě podepřený prvek o stejném zatížení. V 1. případě je použita betonářská výztuž a v případě 2. uhlíkové vlákno. Snížení tloušťky prvku umožnila pevná vlákna, která kompenzují rameno vnitřních sil a zmenšení krycí vrstvy, které odpadá funkce krytí proti požáru a vlhkosti. Snížení tlouštěk zvyšuje riziko porušení prvku na smyk. Smyková pevnost by měla být ověřována u subtilních prvků.

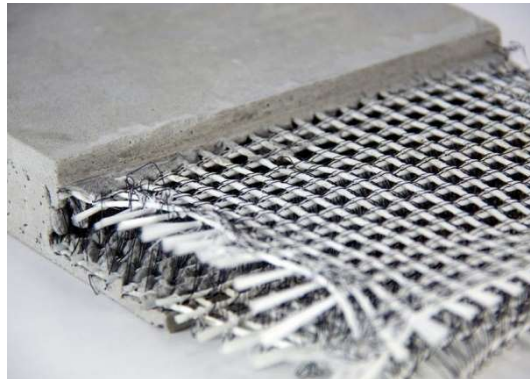


Obr. 11: Porovnání použitých výztuží

#### 2.2.4 Užití TRC

Užití textílbetonu v praxi zdaleka není na svém vrcholu, ale postupně se začíná objevovat i mimo fakultní půdu.

Své místo si textílbeton získává u fasádních panelů, u kterých vysokohodnotný beton zajišťuje vysokou povětrnostní odolnost a životnost při minimální tloušťce, jelikož nekovové kompozity nejsou náchylné na vlhkost. Ukázkou může být fasádní panel Drážďanské univerzity, kdy byl použit textílbeton vyztužený 3D skelnou sítí. Fasádní panel dosahuje 3 centimetrové tloušťky místo 14 cm. Téměř 5 násobné snížení váhy panelů snižuje množství použité směsi a složitosti fasádního kotvícího systému.



Obr. 12: Fasádní panel, převzato z [<http://www.baulinks.de/webplugin/2011/1504.php4>] [16]

Kromě fasádních panelů lze uvidět textilbeton i u konstrukčních prvků, například pěší most v německém Lautlingenu. Na most byla použita skelná síť s oky 10 x 10 mm, která byla výztuží doprovodnou k výztuži předpínající. [17] Častěji se textilbetony vyskytují u městského mobiliáře, např. stoly, lavičky, židle. Způsob jejich výroby se liší dle výrobce. Každý výrobce upřednostňuje jiný typ. Například GFRC stříkaná skelná vlákna do formy obr.16, postupné kladení textilie do betonu obr.17, vylití formy s již předpřipravenou výztuží obr.18. Textilbeton nemusí být vždy spojen s betony vysokých pevností. Lze vyrobit prvky i z betonů lehčených, konkrétně obr.18 konferenční stůlek, vyztužen 3D skelnou sítí.



Obr. 13: Technologie GFRC, převzato z [<https://concretecountertopinstitute.com/free-training/why-you-should-be-using-gfrc-for-your-concrete-projects>] [18]



*Obr. 14: Kladení textilie, převzato z [http://www.concretedecor.net/decorativeconcretearticles/vol-13-no-7-october-2013/casting-thin-concrete-furniture-with-gfrc/#prettyPhoto] [19]*



*Obr. 15: Lehčený beton s 3D výztuží, převzato z [F. VASTL, BAKALÁŘSKÁ PRÁCE - Návrh konferenčního stolku z lehkého betonu vyztuženého sítěmi] [8]*



## 2.3 Textilie textilbetonu

Jak už bylo řečeno, textilbeton je druh betonu, u kterého pevnost v tahu přebírá místo oceli textilní vlákno. Nová vlákna přinášejí jiné vlastnosti a oblasti použití, ale také nová rizika, která nebyla dříve k řešení.

Moderní kompozity na bázi uhlíku dosahují 4krát vyšších pevností nežli ocel a pětinasobně nižších objemových hmotností. Tento fakt usnadňuje manipulaci s vyrobenou výztuží na stavbě. Oproti tomu ji nelze dodatečně upravovat. Přesný tvar ohybů musí být předem vyroben a přivezen na stavbu.

Kompozity ve formě výztuže mají ortotropní chování a tím i jiný součinitel  $\alpha$  v každém směru. Součinitel tepelné roztažnosti je závislý na poměrovém složení výsledného kompozitu (matrice, vlákna). V podélném směru určují roztažnost především vlákna kompozitu a ve směru příčném pojící matrice. [20]

### 2.3.1 Struktura kompozitu

Principem kompozitu je docílit lepších fyzikálních vlastností, než obsahují vstupní složky dohromady. První kompozity vytvořené lidmi jsou hliněné cihly s přidanými dřevitými vlákny. Už tehdy se jednalo o kompozitní materiál. Hliněná cihla byla doplněna organickými vlákny, která umocnila výslednou pevnost výrobku. Tato práce se bude zabývat výhradně novými kompozity vzniklými od 20. století. [1, pp. 2-8]

Nové kompozity jsou tvořeny z pevných vláken a matrice. Vlákno, které je velmi pevné, avšak křehké, je ošetřeno matricí ve formě pryskyřic. Matrice vzájemně spojuje křehká vlákna do určitého celku a také tvoří ochranný obal.

#### **Matrice**

Pojivo pojící k sobě jednotlivá vlákna. Obecně matrice dosahuje mnohem menších pevností a větších deformací, nežli výztužné vlákno. Matrice dělíme na dvě kategorie, termoplasty a termosety.

**Termoplasty** – jsou plasty, mezi které patří například polystyren (PS), polyetylén (PE), polyetylén tereftalát (PET) a další. Jejich charakteristickou vlastností je, že od určité teploty měknou a opět při ochlazení tuhnou. Strukturním znakem termoplastů jsou jejich dlouhé

molekuly, vytvořené opakováním stejné strukturní jednotky. Z tohoto důvodu jsou označovány jako polymery. [1, p. 12]

**Termosety** – jsou například epoxidy melaminy, fenoly formaldehydové pryskyřice. Jejich dodávka je v tekutém vysoce viskózním stavu, kdy při přidání katalyzátoru a iniciátoru vzniká chemické reakce vytvrzení. Při tuhnutí vznikají pevné vazby mezi malými molekulami a vytváří se prostorová polymerní síť s různou hustotou. Proces, jenž probíhá chemickou cestou, nelze vrátit a uvést zpět termosety do viskózního stavu. Termosety jsou mnohem odolnější vůči teplotě a vykazují vyšší pevnosti než termoplasty. Jsou také ve větším měřítku užívány pro matrice kompozitu. Na druhou stranu jsou křehčí a zpětné použití (recyklace) není možná. [1, pp. 2-8]

Nejvíce používanými matricemi jsou nenasyčené polyestery a vinylestery, které spadají do termosetů a zaujímají přes 85% objemu použití. Dále se používají speciální pryskyřice patřící také do skupiny termosetů, pouze v mizivé míře se používají termoplasty. Nevýhoda termoplastu je zmíněná nestálost při změně teploty i vysoká viskozita při zpracování a aplikování na vlákna. Důsledkem vysoké viskozity jsou defekty ve formě vzduchových bublin uvězněných ve směsi, či nepříjemně se táhnoucí vlákna termoplastů při aplikaci na vlákna. Konzistence dosahuje až o 2-4 řády vyšší viskozity než termosety. [1, p. 15]

matrice	hustota (g/cm <sup>3</sup> )	modul pružnosti v tahu (GPa)	pevnost v tahu (MPa)	deformace do lomu (%)
<b>termosety</b>	<b>1.10-1.67</b>	<b>1.3-6.0</b>	<b>20-180</b>	<b>1-30</b>
epoxy	1.1-1.4	2.1-6.0	35-90	1-10
polyestery	1.1-1.5	1.3-4.5	45-85	1-5
fenolické pr.	1.3	4.4	50-60	1-3
polyimidy	1.2-1.9	3.0-3.1	80-190	2-40
<b>termoplasty</b>	<b>0.90-1.45</b>	<b>1.0-4.0</b>	<b>20-250</b>	<b>5-150</b>
PP	0.90	1.1-1.5	28-41	10-700
PA	1.42	2.8-3.4	76-83	60-300
PC	1.21	2.1-2.8	62-76	110-130
PEEK	1.31	3.8	70	50-150

Obr. 16: Vlastnosti nejčastěji používaných organických matric, převzato z [J. JANČÁŘ, ÚVOD DO MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ POLYMÉRNÁCH KOMPOZITŮ] [1, p. 16]



### 2.3.2 Vlákna kompozitu

Uspořádání vláken lze libovolně měnit a tím i upravovat konečné vlastnosti kompozitu. Můžeme vlákna různým způsobem umisťovat do matrice, anebo můžeme vlákna předem předpřipravit a až poté je následně aplikovat do zvolené matrice.

Aby mohla být vlákna přesně dávkována a zaříděna, vznikly parametry charakterizující jejich vlastnosti.

- Vlákno, filamet – základní prvek; tloušťky v jednotkách  $\mu\text{m}$ . [21, p. 28]
- Svazek vláken, roving – více vláken pospolu; můžou tvořit nitě, příze, tkaniny... [21, p. 28]
- Délková hmotnost (jemnost  $f$ ) - udává hmotnost vlákna v gramech o celkové délce 1 km, vyjádřeno jednotkou  $\text{tex}$ . [1, p. 66]

$$f = 1 \text{ tex} = \frac{1 \text{ g}}{1 \text{ km}} [\text{g/km}]$$

*Obr. 17: Jemnost*

- Obsah vláken v kompozitu [1, pp. 63-64] - parametr určující množství vláken pojených pryskyřicí se určuje procentuálně z objemů, z důvodu rozdílných hustot vláken a matrice. Jedná se o poměr objemu vláken k objemu celkového kompozitu krát 100%; objemový zlomek nabývá hodnot kolem 0,7 – 0,8. Z hlediska výrobního je lepší udávat hmotnostní podíl vláken v kompozitu, který lze využít při dávkování ve výrobě.

$$w_f = \frac{\rho_f}{\rho_c} \times v_f$$

*Obr. 18: Hmotnostní podíl*

$W_f$  – hmotnostní podíl [-]

$\rho_f$  – hustota vlákna [ $\text{g/cm}^3$ ]

$\rho_c$  – hustota matrice [ $\text{g/cm}^3$ ]

$v_f$  – objemový podíl [-]

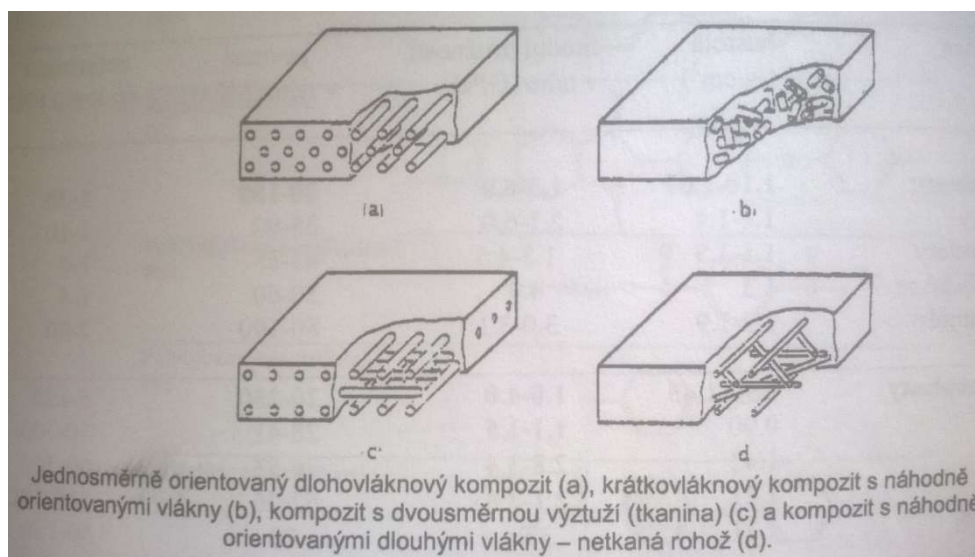
### Uspořádání vláken dle orientace a délky vláken v matrici [1, p. 13]

Jednosměrné (vlákna jsou orientována převážně v jednom směru)

- *krátkovláknové (poměr délky/průměr < 100)*
- *dlouhovláknové (poměr délky/průměr > 100 nebo délka vlákna je rovna celému dílci)*

mnohoseměrné (vlákna náhodně nebo pravidelně orientována dvěma či více směry)

- *krátkovláknové (poměr délky/průměr < 100)*
- *dlouhovláknové (poměr délky/průměr > 100)*



Obr. 19: Uspořádaná vlákna v matrici, převzato z [J. JANČÁŘ, ÚVOD DO MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ POLYMÉRNÁCH KOMPOZITŮ] [1, p. 15]

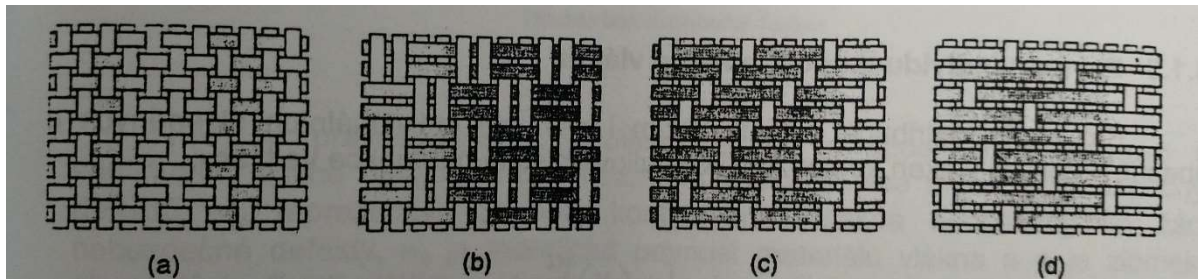
### Uspořádání vláken mezi sebou [1, pp. 70-71]

Forma tkaní záleží vždy na požadovaných vlastnostech. Výchozí stav jsou navinutá vlákna na bubnech, ze kterých se následně tká požadovaná výztuž. Lze tkát výztuž v jednom směru, nebo při všesměrovém namáhání lze tkát výztuž do všech směrů.

- Roving – svazek vláken ve tvaru nekonečné délky bez krutu.

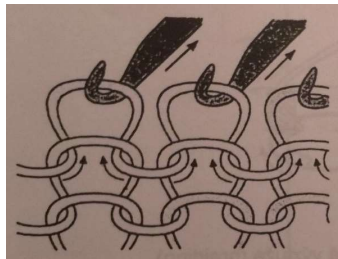


- Vytzužující rohož – netkaná výztuž vyrobená z nasekaných krátkých vláken, která jsou za tlaku slisována do tenké rohože. Po spojení vláken se používá pojivo v hmotnosti 5 – 30%. Použití tak vysokého množství pojiví pryskyřice snižuje výslednou pevnost rohože, ale uděluje výrobku kvaziizotropní vlastnosti.
- Tkanina – tkaná výztuž do všech směrů. Tkaniny jsou tkány různými typy vazeb a jejich plošná hmotnost je závislá na množství použitých vláken. Což vede k výhodě oproti netkaným výztužím. Můžeme použít mnohem více vláken a tím zajistit větší pevnost výsledného kompozitu.



Obr. 20: Typy základních tkanin – a) plátňová vazba b) dvounitná plátňová vazba c) Keprova vazba d) Atlasová, převzato z [J. JANČÁŘ, ÚVOD DO MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ POLYMÉRNÁCH KOMPOZITŮ] [1, p. 73] [22]

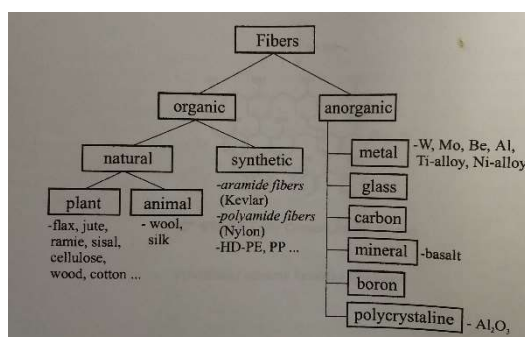
- Pletené – způsob pletení se výrazně liší od mechaniky tkaných výztuží. Pletenina je založena na deformaci jednotlivých ok, kterými jsou protahována oka další. Tento způsob je vhodný pro nízkomodulová vlákna, která se při ohybech neporuší. Styl pletení neumožňuje použití velkého množství vláken, což způsobuje poměrně velké zastoupení pryskyřice v kompozitu.



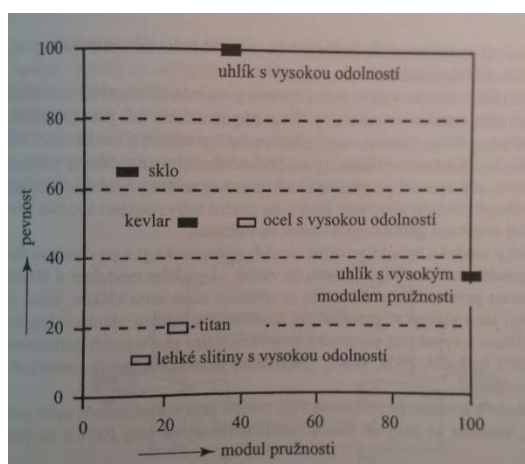
Obr. 21: Schéma pleteninové výztuže, převzato z [J. JANČÁŘ, ÚVOD DO MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ POLYMÉRNÁCH KOMPOZITŮ] [1, p. 73]

## Materiály vláken

Typů materiálů, které mohou působit v kompozitech, je nepřehledné množství. Nejčastěji používané jsou uhlíkové, skleněné, aramidové (kevlarové) a čedičové. Jednotlivé materiály lze zařadit do určitých kategorií. Pro jednoduchou identifikaci zařídíme materiály dle původu viz. obr.22 a dle pevnostní charakteristiky vláken viz obr.23. Hodnota 100 na svislé ose znázorňuje pevnost 5 GPa a hodnota 100 na vodorovné ose znázorňuje modul pružnosti 500 GPa. Pevnosti jednotlivých materiálů se mohou vzájemně lišit. [23, pp. 118-119]



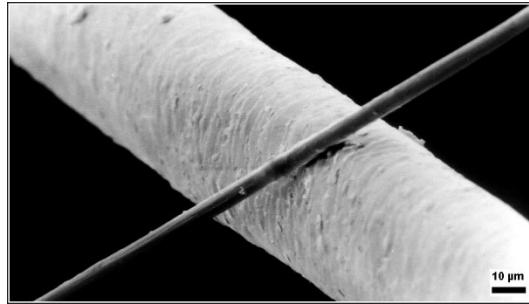
Obr. 22: Dělení nejčastěji využívaných vláken, převzato z [J. JANČÁŘ, ÚVOD DO MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ POLYMÉRNÁCH KOMPOZITŮ] [1, p. 62]



Obr. 23: Srovnání fyzikálních vlastností, převzato z [A. LEGENDRE, UHLÍKOVÉ MATERIÁLY - Od černé keramiky k uhlíkovým vláknům] [23, p. 119]



Uhlíkové vlákno – je vlákno o velmi malé tloušťce mezi 5 – 8  $\mu\text{m}$ , tvořené zejména z atomů uhlíku. Vysoká pevnost je dána uspořádáním jednotlivých atomů do mikroskopických krystalů, které jsou orientované paralelně s osou. [24]



Obr. 24: Uhlíkové vlákno o průměru 6  $\mu\text{m}$  v porovnání s lidským vlasem, převzato z [[https://cs.wikipedia.org/wiki/Uhlíkové\\_vlákno](https://cs.wikipedia.org/wiki/Uhlíkové_vlákno)] [24]

První uhlíková vlákna přišla na konci 19. století, kdy Edison karbonizoval obyčejné bavlněné nitě do žárovek. Poté nastal útlum 80. let. Poté přišla éra uhlíkových vláken, jaká známe dnes, která se objevila v průběhu 60. let 20. století a postupně v 70. letech se začínají uhlíková vlákna vyrábět průmyslově. [23, pp. 115-116]

Výroba vláken je velmi komplikovaná a nejednotná. Každý typ vlákna potřebuje svůj specifický postup výroby a zvolení vhodných plniv (ropné a černouhelné smolné koksy, antracit, uhlíkové černě, grafit [23, p. 37]). Zde uvádím zjednodušený postup. Vše začíná zvlákněním prekuzoru tavně nebo z roztoku a následně je postupně dlužen do požadované jemnosti. Poté je potřeba upravit vlastnosti vláken. 1. stabilizace – vlákna se zahřívají na teplotu 200 – 300  $^{\circ}\text{C}$ , při které vlákno posbírání kyslíkové molekuly a srovná si atomové struktury. 2. karbonizace – současné prekuzorové vlákno se zahřívá v inertní atmosféře na teploty 1000 – 2000  $^{\circ}\text{C}$ , čímž se zajistí vypálení (odstranění) přebytečných neuhlíkových atomů. Výsledné vlákno poté vykazuje obsah uhlíku nad 85%. 3. grafitizace (dle potřeby) – zahřátí na ještě vyšší teploty 2500 – 3000  $^{\circ}\text{C}$ . Výsledkem je poté vysoká čistota vlákna. Obsah uhlíku 99%. 4. povrchová úprava – vyrobené vlákno vykazuje vysokou hladkost, která snižuje přilnavost dalších materiálů použitých v kompozitech. Vlákno se tedy zdrsňuje oxidací nebo smáčením v různých kapalinách. [24]



Svižně se rozvíjející trh a velký hlad po uhlíkových materiálech jasně ukazuje, že tento materiál bude v budoucnu prioritní pro další etapu zlepšování konstrukcí a materiálů. Důvodem jeho popularity jsou především jeho vlastnosti:

- 5krát menší objemová hmotnost než u ocele.
- Žáruvzdornost – materiál netaje, neměkne. Dokonce zvyšuje únosnost při zvyšující se teplotě do 2500 C°.
- Nízký součinitel tepelné roztažnosti – 10krát nižší než u ocele.
- Odolný proti teplotním šokům.
- Korozivzdorný.
- Vodivý tepelně i elektricky.
- Odolává ablací.

[23, p. 50]



### 3 Analýza prvků z TRC

#### Zjištění materiálových charakteristik

Aby se mohly porovnat jednotlivé vzorky mezi sebou, je třeba vzorky podrobit destruktivní zkoušce. Vzorky o formátu 100 x 18 x 360 mm (šířka x výška x délka) byly zatíženy čtyřbodovým ohybem obr.25. Tato zkouška prověřila pevnost vzorků na ohybovou a smykovou pevnost. Při výrobě zkušebních desek byla zhotovena doprovodná zkušební tělesa. Trámečky o rozměrech 60 x 60 x 160 mm (šířka x výška x délka), které byly podrobeny také čtyřbodové zkoušce a následně jeden z úlomků byl podroben tlakové zkoušce. Krychle o rozměrech 100 x 100 x 100 mm (šířka x výška x délka), které byly podrobeny tlakové zkoušce. Zkoušky doprovodných těles byly řízeny dle norem ČSN EN 12390 a ČSN EN 1015-11. Zjištěné pevnosti byly následně převzaty pro výpočetní model.

Použité vztahy pro výpočet pevnostních charakteristik doprovodných těles:

$$\sigma_p = \frac{F}{A}; \sigma_b = \frac{M_{max}}{W}$$

$$W = \frac{1}{6}bh^2$$

$\sigma_p$  – tlakové napětí v posuzovaném průřezu

$\sigma_b$  – tahové napětí za ohybu v posuzovaném průřezu

$W$  – průřezový modul

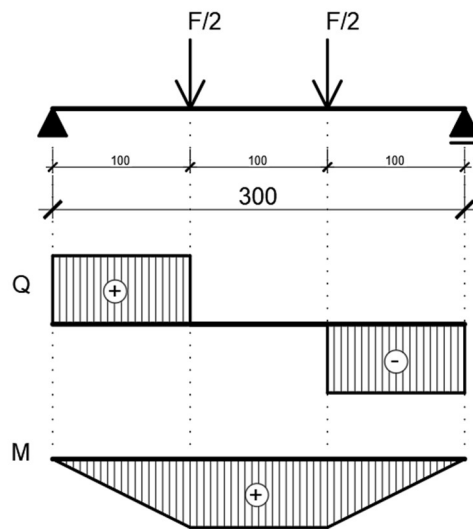
$b$  – šířka posuzovaného průřezu

$h$  – výška posuzovaného průřezu

$F$  – síla

$A$  – zatěžovací plocha

$M_{max}$  – maximální moment působící na prvek



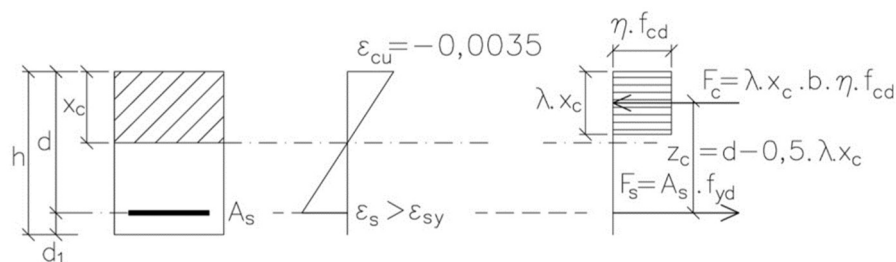
Obr. 25: Zkouška na čtyřbodový ohyb

### Numerický výpočet únosnosti prvků [25]

Pro porovnání destruktivních zkoušek byly spočteny teoretické pevnosti prvků dle zavedených vzorců. Porovnání ukazuje nuance oproti teoretické pevnosti. Tyto nerovnosti nabádají k rozboru použitých vzorců a technologii výroby testovacích vzorků.

### Pevnost v ohybu

Ohybová pevnost prvku je řešena Eurokódem 2. Při výpočtu se držím postupů Eurokódu i přesto, že tato norma neuvažuje použití betonů o pevnostech vyšších než 110 MPa. Průběh napětí v pracovním diagramu tláčeného betonu uvažuji zjednodušeně, tedy napětí v průřezu rozdělují rektangulárně.



Obr. 26: Vnitřní síly vyztuženého betonového průřezu, převzato z [K. HAZUCHOVÁ, Cvičebnice stavební mechaniky II] [26, p. 13]



$$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400; 50MPa < f_{ck} < 90MPa$$

$$\eta = 1,0 - (f_{ck} - 50)/200; 50MPa < f_{ck} < 90MPa$$

$$x_c = \frac{A_s f_{yd}}{\lambda \eta f_{cd} b}; Z_c = d - 0,5 \lambda x_c$$

$$m_{Rd} = A_s f_{yd} Z_c$$

$h$  – výška průřezu

$d$  – účinná výška průřezu

$d_l$  – vzdálenost osy výztuže od bližšího povrchu průřezu

$x_c$  – výška tlačené oblasti betonu

$\varepsilon_{cu}$  – poměrné přetvoření betonu (závislé na typu betonu)

$\varepsilon_{sy}$  – poměrné přetvoření tahové výztuže

$\eta$  – součinitel tlakové pevnosti betonu

$\lambda$  – součinitel definující účinnou výšku tlačené oblasti

$A_s$  – plocha tažené výztuže

$f_{cd}$  – návrhová pevnost betonu

$f_{ck}$  – charakteristická pevnost betonu

$f_{yd}$  – návrhová pevnost výztuže

$Z_c$  – rameno vnitřních sil

$m_{Rd}$  – maximální únosnost prvku v posuzovaném průřezu

Poznámka: Součinitele spolehlivosti jsou ve výpočtech nahrazeny hodnotou 1, aby neovlivňovaly skutečné výsledky.

### Pevnost ve smyku

Smyková pevnost betonu je řešena normou Eurokód 2. Při výpočtu se tedy opírám o Eurokód 2, i když je pevnost betonu vyšší, než s čím počítá zmiňovaná norma. Ve výpočtu neuvažuji uhlíková vlákna. Tedy se jedná o beton prostý, nevyztužený, ten je řešen v Eurokódu 2 kapitole 12.



$$\tau_{cp} = kV_{Ed}/A_{CC}$$

$$\tau_{cp} \leq f_{cvd}$$

Pokud normálová síla je rovna 0, použijeme vztah:

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd,pl}^2 + \sigma_{cp}f_{ctd,pl}}$$

$$f_{ctd,pl} = \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_C}$$

$$f_{ctk;0,05} = (2,12 * \ln(1 + ((f_{ck} + 8)/10))) * 0,7$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_{CC}$$

$\tau_{cp}$  – smykové napětí v průřezu

k – součinitel závislý na příslušném státě, doporučená hodnota k = 1,5

$V_{Ed}$  – posouvající síla v posuzovaném průřezu

$A_{CC}$  – plocha betonového průřezu

$f_{cvd}$  – smyková pevnost betonu

$f_{ctd,pl}$  – návrhová pevnost betonu v tlaku

$\sigma_{cp}$  – tlakové napětí v betonu

$f_{ctk;0,05}$  – charakteristická pevnost betonu v tlaku

$\gamma_C$  – dílčí součinitel spolehlivosti betonu  $\gamma_C = 1,5$

$N_{Ed}$  – normálová síla v posuzovaném průřezu

Poznámka: Součinitele spolehlivosti jsou ve výpočtech nahrazeny hodnotou 1, aby neovlivňovaly skutečné výsledky.





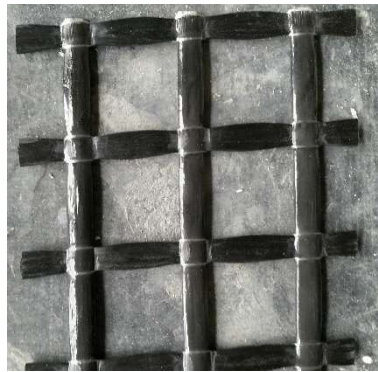
### 3.1 Experimentální ověření

V experimentální části byly vyhotoveny sady jednotlivých vzorků s rozdílnou uhlíkovou výztuží. Množství výztuže ve vzorcích bylo voleno tak, aby jednotlivé vzorky mezi sebou obsahovaly stejné množství výztuže nebo aktivované výztuže. Aktivovanou výztuží je myšlena výztuž při dolním povrchu.

Vzorky ve formě desek 100 x 18 x 360 mm (šířka x výška x délka) byly zatíženy čtyřbodovým ohybem a doprovodná tělesa 40 x 40 x 160 mm (šířka x výška x délka) byla zatížena tříbodovým ohybem a následně byly úlomky podrobeny tlakové zkoušce. Tlaková zkouška byla doplněna krychelnými vzorky 100 x 100 x 100 mm.

#### Zhotovené vzorky:

1) Vzorky (xP21) vyztužené uhlíkovou sítí solidian GRID Q85/85-CCE-21 při spodním i horním povrchu.



Obr. 27: solidian GRID Q85/85-CCE-21

2) Vzorky (VLx.x) vyztuženy rozptýlenými uhlíkovými vlákny 24K, 1600 tex o délce 15–25 mm v dávkách 5 kg/m<sup>3</sup>, 10 kg/m<sup>3</sup> a 20 kg/m<sup>3</sup>.



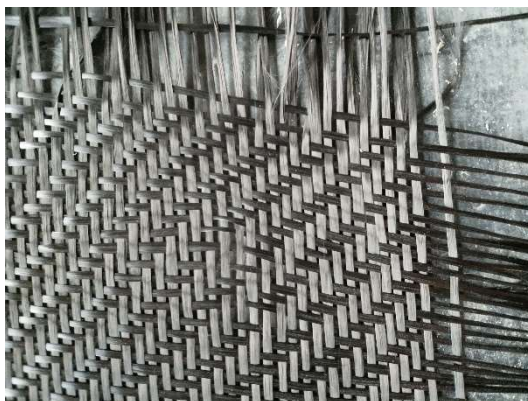
*Obr. 28: Roving*

3) Vzorky (TK\_PLx) vyztuženy uhlíkovou tkaninou KC 160 g/m<sup>2</sup>, 3K, plátno, při spodním i horním povrchu.



*Obr. 29: Tkanina typ plátno*

4) Vzorky (TK\_KPx) vyztuženy uhlíkovou tkaninou KC 160 g/m<sup>2</sup>, 3K, kepr, při spodním i horním povrchu.



*Obr. 30: Tkanina typ kepr*



5) Vzorky (ROVx) vyztužené uhlíkovým vláknem (rovingem) 24K, 1600 tex při spodním povrchu ve směru pnutí desky.

6) Doprovodná tělesa – trámečky, krychle.

**Poznámka:**

Veškeré doplňující informace k použitým uhlíkovým materiálům jsou uvedeny v příloze.

### 3.1.1 Výroba vzorků

Pro výrobu všech vzorků byla použita jedna receptura betonové směsi a provedena stejná technologie přípravy.

<b>Složení betonové směsi 1m<sup>3</sup>:</b>	Cement CEM I 42,5	680 kg
	Křemenný písek 01/06, 06/12	960 kg
	Mikrosilika	175 kg
	Křemenná moučka	325 kg
	Superplastifikátor	29 kg
	Voda	204,8 kg

Vodní součinitel 0,3

Objem betonu 2300 kg/m<sup>3</sup>

**Postup přípravy betonové směsi:**

- 1) křemenný písek + mikrosilika
- 2) cement + křemenná mouka
- 3) voda
- 4) superplastifikátor
- 5) voda

Postupné promíchání všech složek probíhalo po dobu 16 minut.

Odlévání vzorků probíhalo více způsoby. Vzorky s tkaninami a sítí se odlévaly po vrstvách. První vrstva byla nalita v tloušťce přibližně 4 mm a následně byl zatlačen výztužný prvek. Poté prvek byl překryt druhou vrstvou směsi, do které byla následně aplikována druhá řada výztužného prvku. Poté se výztuž opět zakryla betonovou směsí.

Tato metoda neumožňuje dosáhnout přesného rozestupu výztuží a požadované krycí vrstvy. Tento nedostatek lze řešit pomocí distančních tělísek.

Při ukládání uhlíkové sítě opatřené epoxidem nenastaly komplikace. Výztuž se lehce zatlačila do betonové směsi bez doprovodných deformací.

Při ukládání tkaniny nastaly komplikace. Tkanina se těžko pojila s betonovou směsí a při jejím zatlačování vznikaly velké deformace tkaniny. Při aplikaci dalších vrstev se směs velmi obtížně nanášela, protože se strhávala již uložená tkanina. Pro budoucí aplikace doporučuji použít tekutější směs, která vyplní formu bez jakýchkoliv zásahů, nebo aplikaci směsi pomocí nástřiku. Obě tyto varianty vyžadují úpravu betonové směsi, která pozmění parametry betonu.

Odlévání vzorku s rozptýlenou výztuží probíhalo bez komplikací. Vlákna byla míchána v suché směsi.

Odlévání vzorků s rovingem probíhalo též bez komplikací. Do předem připraveného bednění s napnutým rovingem byla vylita betonová směs.



*Obr. 31: Forma s různými typy výztuží*



*Obr. 32: Napnutí vláken v distanci od spodního povrchu 2 mm*

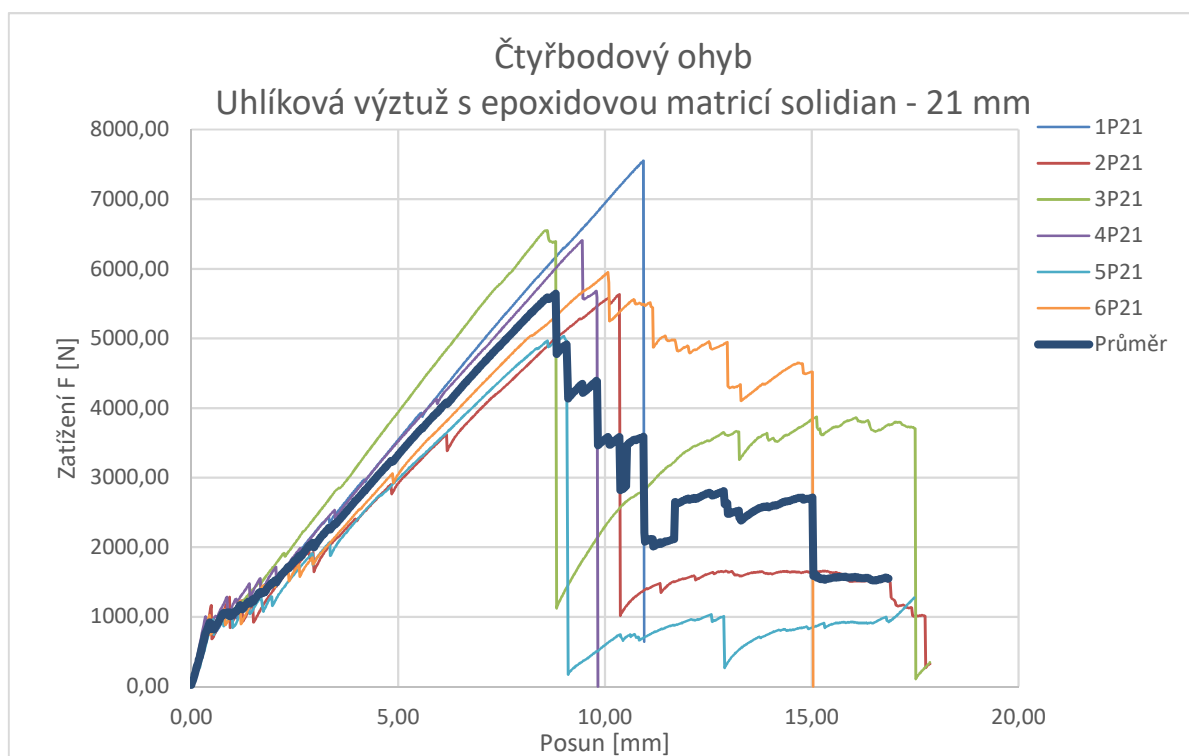
Po uložení betonové směsi nebylo vibrováno u žádného ze vzorků, vyjma vzorků s napnutým rovingem, který byl krátce vibrován na vibračním stole.

Následně byly vzorky zabaleny 3 dny v parotěsné fólii, poté byly uloženy do vodní lázně na 25 dní.

### 3.1.2 Výsledky experimentu

Zkoušení vzorků probíhalo na Fakultě stavební ČVUT a ve výzkumném pracovišti UCEEB. Vzorky byly podrobeny zkoušce ve čtyřbodovém ohybu a ve zkoušce v tlaku. Desky byly zatěžovány konstantním přírůstkem posunu 6 mm/min. Doprovodná tělesa byla zatěžována třibodovým ohybem. Zatěžování probíhalo s konstantním přírůstkem síly 100 N/s pro ohyb a 2500 N/s pro tlak.

První byly odzkoušené vzorky (xP21) vyztužené uhlíkovou sítí. Solidian byla jediná odzkoušená výztuž, která byla pojena epoxidovanou matricí. Celkem bylo vyhotoveno 6 vzorků.



Obr. 33: Čtyřbodový ohyb – uhlíková výztuž s epoxidovou matricí

Analýza grafu ukazuje vznik prvních trhlin a aktivaci výztuže, která se pohybuje na hranici 1 kN. Po vzniku první trhliny zatížení lineárně stoupá a probíhá tak rozvoj trhlin. Lineární průběh je zastaven náhlým kolapsem. Bez varování všech 6 vzorků náhle ztratilo únosnost.

Způsob porušení u všech vzorků je stejný. Pokaždé betonový vzorek selhal na usmýknutí. Vzorky jsou tedy převyztuženy a jejich pevnost je limitující pevností betonu na smyk.



*Obr. 34: Rozvoj trhlin*

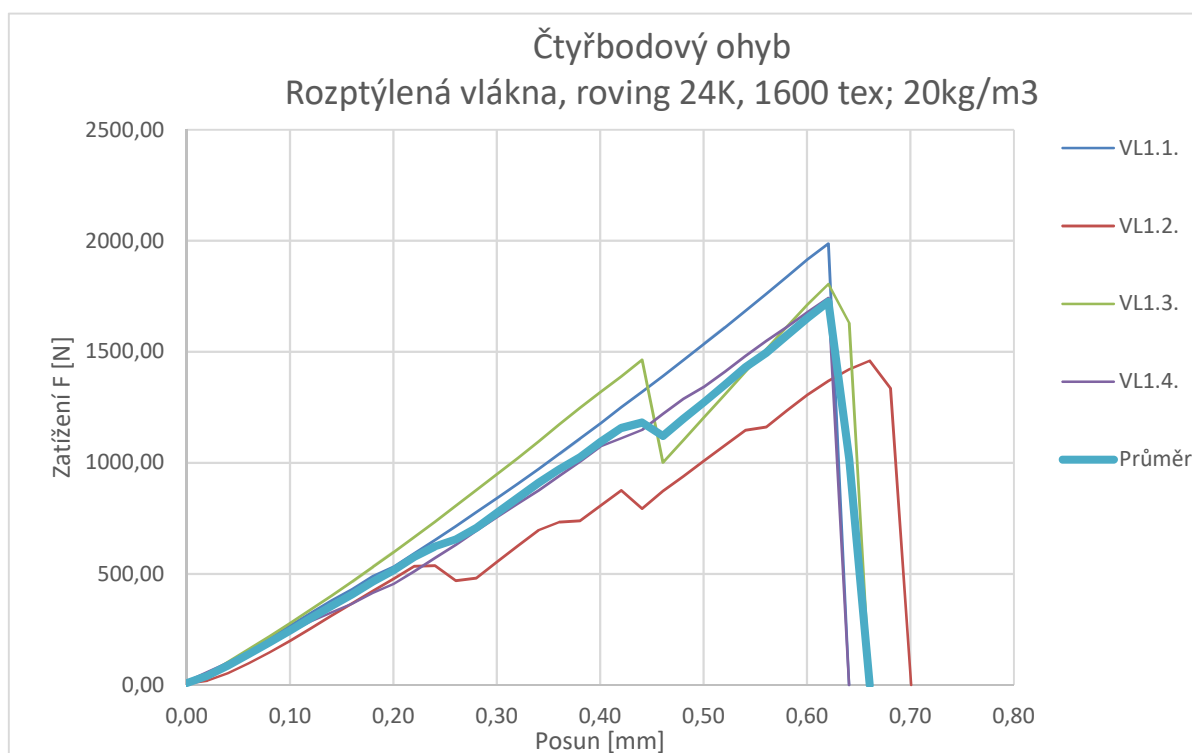


*Obr. 35: Porušení všech vzorků xP21*

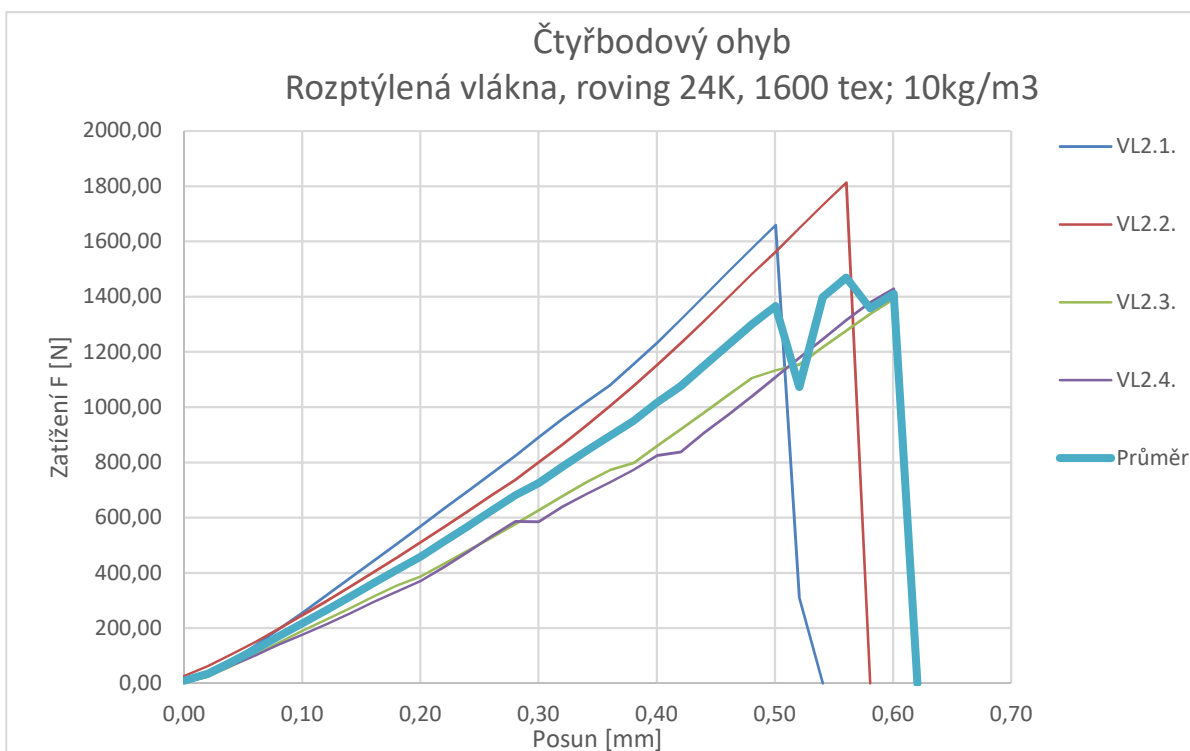


Obr. 36: Smykové porušení vzorků

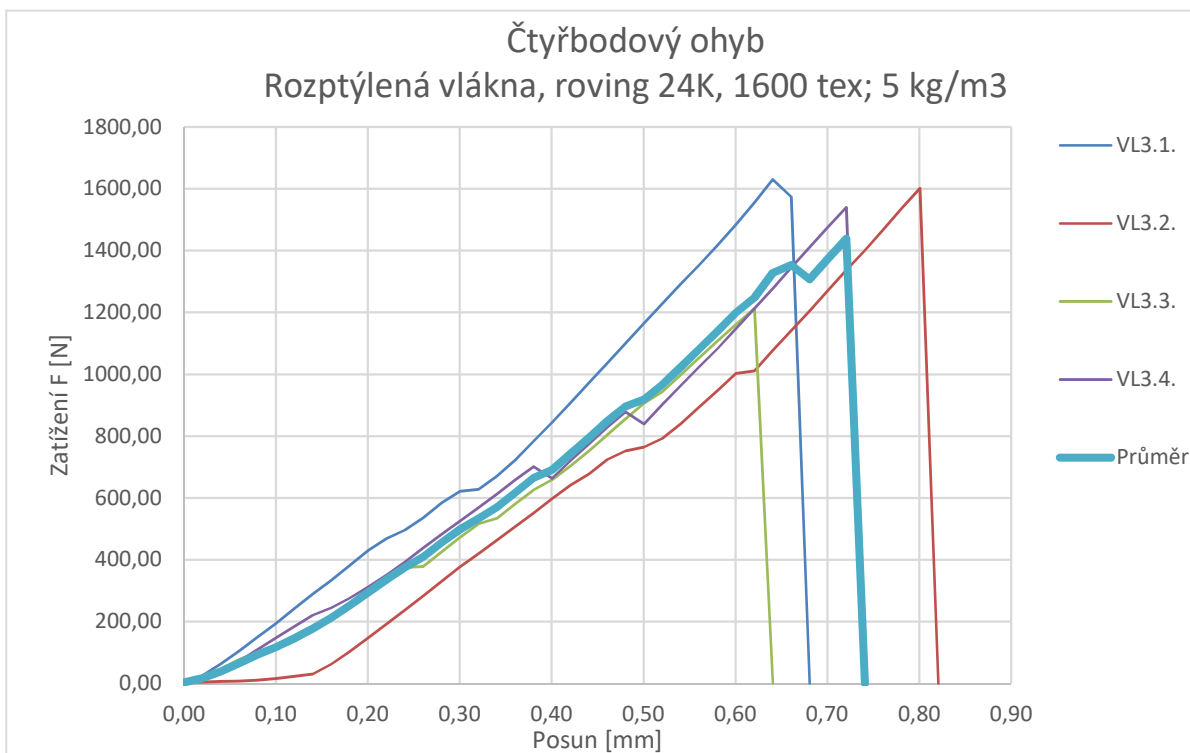
Druhé odzkoušené vzorky byly s rozptýlenými vlákny. Vlákna v délce 15–25 mm jsou ručně nastříhána z rovingu 24K 1600 tex. Rozptýlená vlákna byla dávkována ve 3 různých hmotnostních dávkách 5 kg/m<sup>3</sup>, 10 kg/m<sup>3</sup> a 20 kg/m<sup>3</sup>. Od každé dávky byly vyhotoveny 4 zkušební tělesa.



Obr. 37: Čtyřbodový ohyb – rozptýlená vlákna, roving 24K, 1600 tex; 20 kg/m<sup>3</sup>

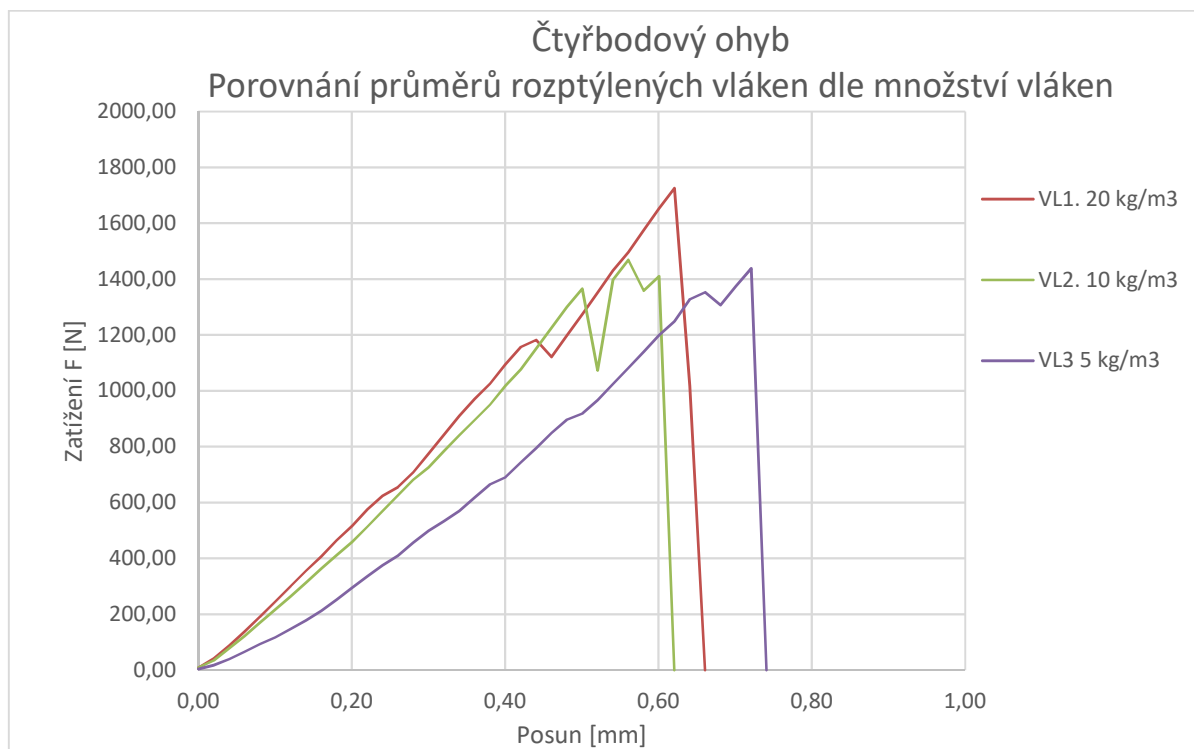


Obr. 38: Čtyřbodový ohyb – rozptýlená vlákna, roving 24K, 1600 tex; 10kg/m<sup>3</sup>



Obr. 39: Čtyřbodový ohyb – rozptýlená vlákna, roving 24K, 1600 tex; 5 kg/m<sup>3</sup>





Obr. 40: Čtyřbodový ohyb – porovnání průměrů rozptýlených vláken dle množství vláken

Z výsledků je vidět průběh velmi podobný průběhu nevyztuženého prvku. Průběh je téměř lineární s drobnými poklesy. Po poklesu únosnosti nastává aktivace vláken a opětovný růst únosnosti. Tyto drobné výchyly však zcela nenaznačují plné zapojení vláken a jejich aktivní účast ve vzorku.

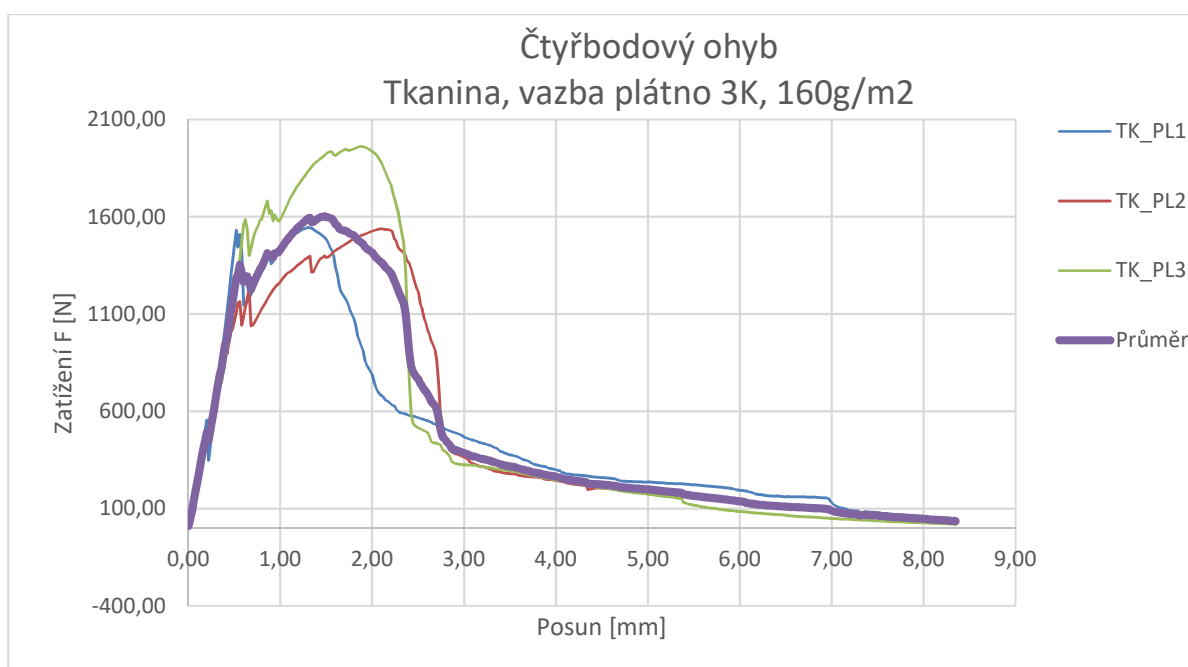
Typickým chováním vláknobetonů je, že po dosažení maximální únosnosti betonu prvek náhle nezkolabuje. Vláknina obsažená ve vzorku tak stále přenáší zatížení (v klesajícím trendu) při neustálém posunu zatěžovací hlavy.

Testované vzorky však po dosažení maximální únosnosti betonu okamžitě kolabují, tedy k aktivaci vláken nedochází. Tuto anomálii vykázal každý odzkoušený vzorek.

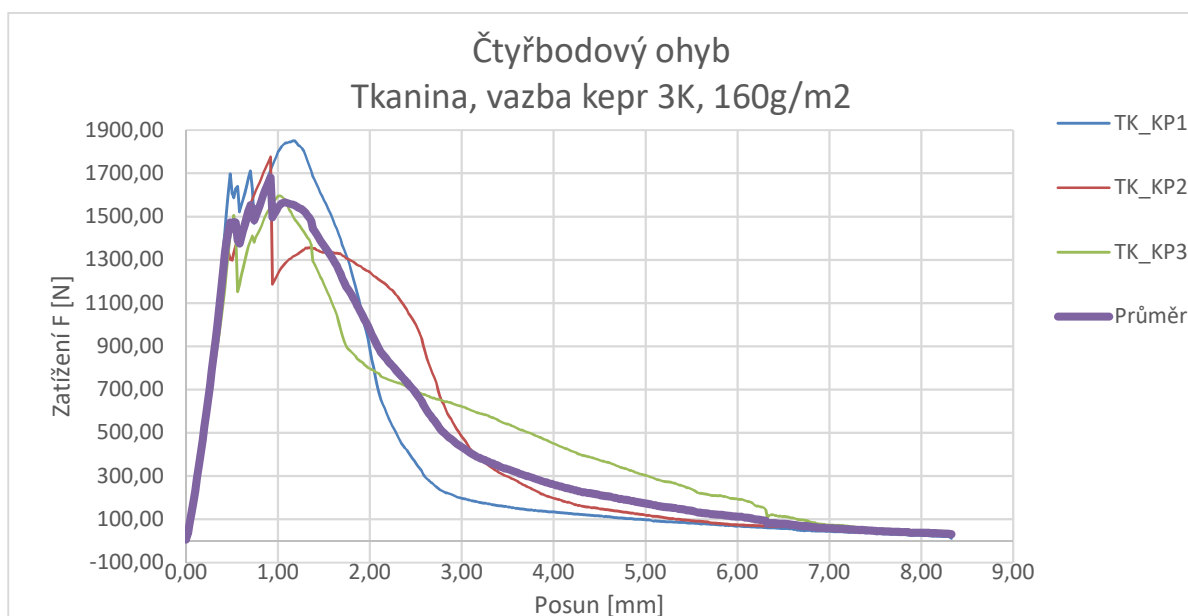
Při srovnání hodnot jednotlivých vzorků s různými obsahy vláken nelze tvrdit, že čím vyšší dávka vláken byla použita, tak tím vyšší pevnost byla dosažena. Výsledky naznačují, že podíl vláken nijak nemění chování vzorku.

Důsledkem těchto výsledků byly prozkoumány průřezy porušených vzorků. Ve všech vzorcích bylo nalezeno stopové množství vláken z celkového objemu. Nepřítomnost vláken způsobila nevhodná technologie míchání betonové směsi, kdy při mísení již mokré směsi byla veškerá vlákna zachycena na lopatkách míchacího zařízení. To způsobilo téměř nulovou přítomnost vláken ve všech vzorcích.

Třetí zkoušené vzorky byly tkaniny. Zkoušely se 2 druhy tkanin po 3 vzorcích. 1. typ je tkanina tkaná do vazby plátno a 2. typ je tkanina tkaná do vazby kepr. Oba typy mají plošnou hmotnost 160 g/m<sup>2</sup> a jsou uloženy ve vzorcích u obou povrchů. Plocha tkaniny v řezu je ekvivalentní ploše vláken ostatních zkoušených vzorků.



Obr. 41: Čtyřbodový ohyb – tkanina, vazba plátno 3K, 160 g/m<sup>2</sup>



Obr. 42: Čtyřbodový ohyb – tkanina, vazba kepr 3K, 160 g/m<sup>2</sup>



Z grafů lze vidět lineární nárůst zatížení do prvního porušení betonu. Po první trhlině poklesne únosnost, ale lze vidět aktivaci tkaniny a její schopnost přenášet tah.

Při zkoušce se tkaniny postupně separovaly od betonu a začaly dělit vzorek na jednotlivé vrstvy obr.43. Výsledné přenesené zatížení dosahuje na úroveň první trhliny v betonu.

Kepr vazba oproti plátňové vazbě dosahuje strmějšího nárůstu pevnosti po aktivaci. Lze usoudit, že kepr vazba lépe spolupůsobí s betonem a způsobuje rychlejší nárůst zatížení, než vazba plátňová, která vykazuje pozvolnější nárůst zatížení, a tudíž vykazuje větší prokluz.

U obou tkanin nelze pozorovat uspokojující spolupůsobení s betonem. Betonová směs se nedokázala plně provázat s tkaninovou výztuží.



*Obr. 43: Vodorovná trhлина – ztráta spolupůsobení s betonem*



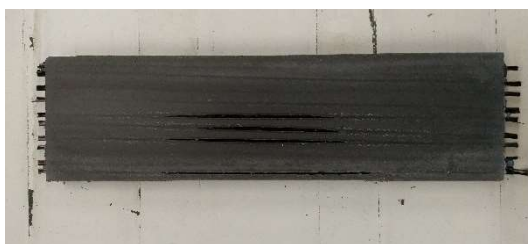
*Obr. 44: Úlomek po zkoušce – nepropojení betonu a tkaniny*

Čtvrtá provedená zkouška představovala napnuté rovingy 24K, 1600 tex u spodního líce vzorku v krycí tloušťce 2 mm. Množství spodní výztuže je ekvivalentní výztuži spodní ve vzorku č.1 (solidian). Celkem napnuto 10 svazků v osové vzdálenosti 1 cm.

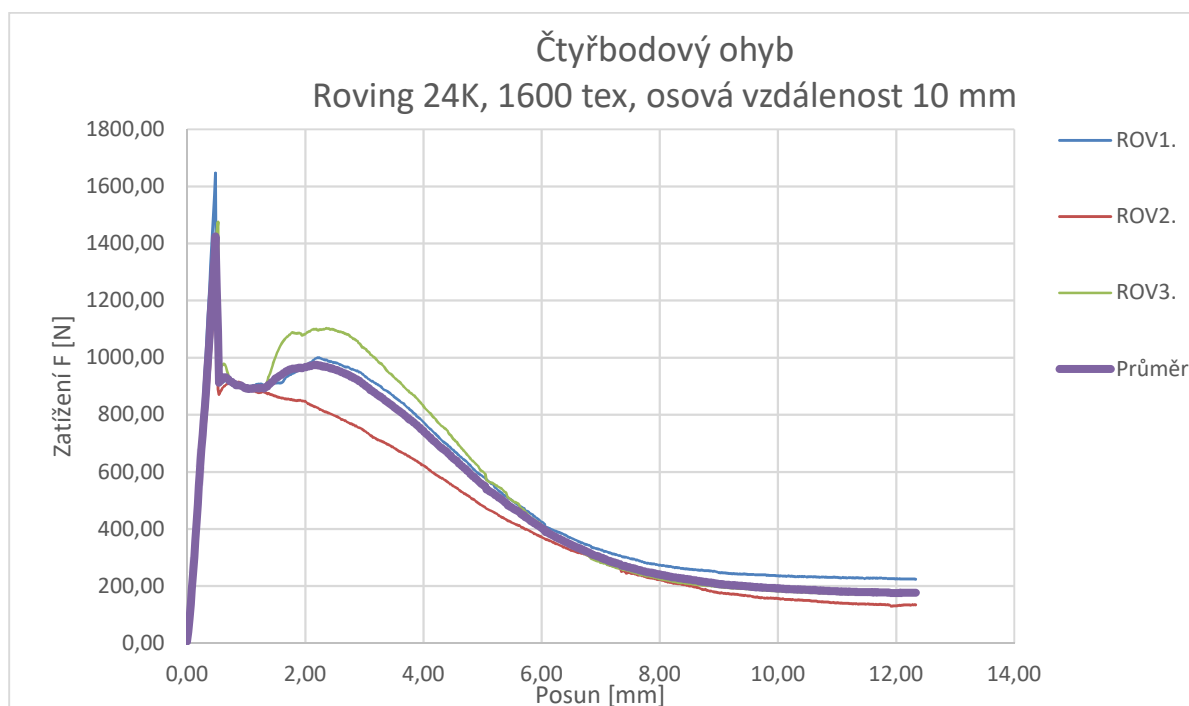


Obr. 45: Vyztužený vzorek, krycí vrstva 2 mm

Celkem byly zhotoveny 3 vzorky. U vzorků se projevilo nedostatečné předeptnutí vláken, což způsobilo jejich prokreslení na spodní povrch desky.



Obr. 46: Prokreslení vláken



Obr. 47: Čtyřbodový ohyb – roving 24K, 1600 tex, osová vzdálenost 10 mm

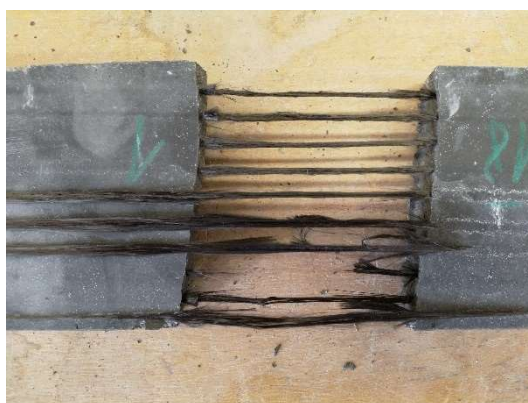


Analýza grafu ukazuje opět lineární nárůst zatížení, při kterém odolává beton. Po dosažení hodnot pro beton kritických nastává okamžik prvních trhlin. V tu chvíli padá únosnost o přibližně 30%, dokud se nezapojí v tahové oblasti výztuž.

Výztuž má tendenci zachytit vznikající tahy, avšak po mírném navýšení únosnosti graf přechází do klesajícího trendu. Lze vidět, že i při velkém posunu zatěžovací hlavy prvek stále odolává a přenáší určité zatížení. Tento jev je způsoben prokluzem vláken v betonu. Čerstvý beton se spojil pouze s vlákny na povrchu svazku, které tvořily zlomek plochy všech vláken a nemohly tak odolávat vzniklým takovým silám. Důsledkem toho bylo postupné vytahování vláken z prvku. Po skončení zkoušky bylo možné oba prvky oddělit vlastní silou.



*Obr. 48: Vzorek po zkoušce – neporušená vlákna, jen vytažena*

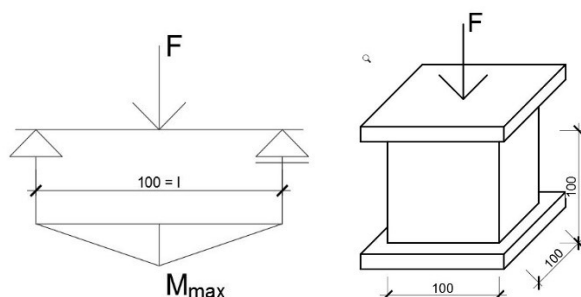


*Obr. 49: Vytažení vláken vlastní silou*

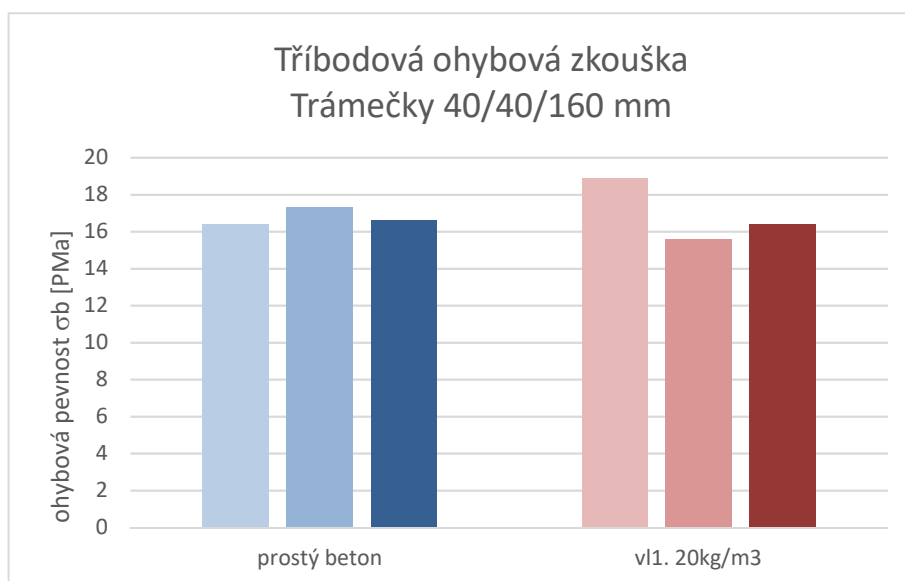
Z obr. 49 lze vidět, že jádro rovingu nebylo spojeno s betonovou směsí, a tak nedošlo ke spolupůsobení betonu a výztuže.

### Doprovodná tělesa

Doprovodná tělesa byla zhotovena pro vláknobeton a pro prostý beton ve formě trámečků 40 x 40 x 160 mm. Trámečky se podrobily zkoušce na ohyb a poté na tlak. Tlakovou zkoušku doplnili krychelné vzorky 100 x 100 x 100 mm.

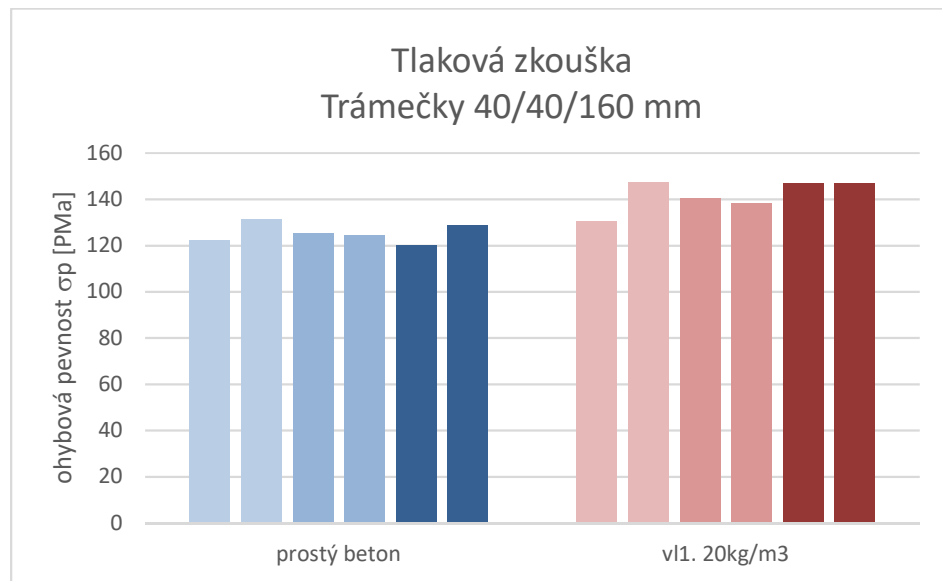


Obr. 50: Ohybová a tlaková zkouška



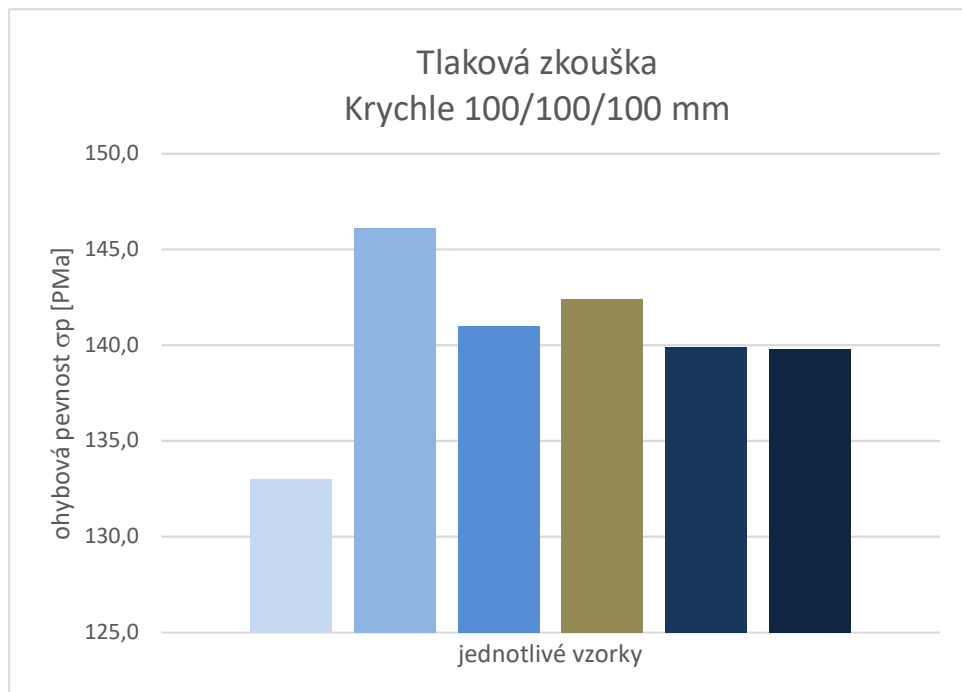
Obr. 51: Tříbodová ohybová zkouška – trámečky 40/40/160 mm

Ohybová zkouška poukázala na již výše zmíněný problém, který řeší nepřítomnost vláken v betonu. Únosnosti betonu s vlákny a betonu bez vláken jsou podobné. Průběh zatěžovací zkoušky zde není uveden, ale u všech vzorků nastal náhlý kolaps po dosažení meze pevnosti betonu za ohybu.



Obr. 52: Tlaková zkouška – trámečky 40/40/160 mm

Také tlaková zkouška poukázala na shodnost pevnosti vzorků vláknobetonu a betonu prostého. Výsledky vláknobetonů s nižším podílem vláken zde nejsou uváděny.



Obr. 53: Tlaková zkouška – krychle 100/100/100 mm



Tlaková zkouška krychlí vykázala v průměru o 10 MPa větší pevnost než zjištěná pevnost u trámečků, ač byla použita identická směs i stejný technologický postup přípravy. Vysvětlení anomálie může být na straně materiálu. Vzorky nebyly betonovány ve stejný den, a tudíž stáří vstupních složek bylo rozdílné. V neposlední řadě mohl vstoupit do výsledků i lidský faktor.

vzorek	b [mm]	a [mm]	c [mm]	m [kg]	$\sigma_b$ [MPa]	$F_{max}$ [kN]	$M_{max}$ [kNm]
1 prostý	42,2	40	160	0,599	16,4	7,37	0,18
2 prostý	40,4	40	160	0,603	17,3	7,47	0,19
3 prostý	40	40	160	0,596	16,6	7,37	0,18
vl 1.1	41,3	40	160	0,586	18,9	8,33	0,21
vl 1.2	40,6	40	160	0,577	15,6	6,75	0,17
vl 1.3	38,3	40	160	0,548	16,4	6,69	0,17

Tab. 1: Třibodová ohybová zkouška, trámečků 40 x 40 x 160 mm

vzorek	b [mm]	a [mm]	$\sigma_p$ [MPa]	$F_{max}$ [kN]
1 prostý bet.	40	40	122,4	204,2
2 prostý bet.	40	40	131,4	219,1
2 prostý bet.	40	40	125,1	208,7
2 prostý bet.	40	40	124,6	207,8
3 prostý bet.	40	40	120,3	20,7
3 prostý bet.	40	40	128,9	215,0
vl 1.1 20kg/m <sup>3</sup>	40	40	130,4	199,7
vl 1.1 20kg/m <sup>3</sup>	40	40	147,5	226,0
vl 1.2 20kg/m <sup>3</sup>	40	40	140,3	214,9
vl 1.2 20kg/m <sup>3</sup>	40	40	138,3	211,7
vl 1.3 20kg/m <sup>3</sup>	40	40	146,7	224,7
vl 1.3 20kg/m <sup>3</sup>	40	40	146,7	224,7

Tab. 2: Tlaková zkouška trámečků 40 x 40 x 160 mm

vzorek	b [mm]	a [mm]	$\sigma_p$ [MPa]	$F_{max}$ [kN]
1 prostý beton	98,9	100	133,0	1325,1
2 prostý beton	97,3	100	146,1	1445,2
3 prostý beton	98,1	100	141,0	1494,7
4 prostý beton	98,7	100	142,4	1408,0
5 prostý beton	99	100	139,9	1383,2
6 prostý beton	99,8	100	139,8	1382,0

Tab. 3: Tlaková zkouška krychlí 100 x 100 x 100 mm

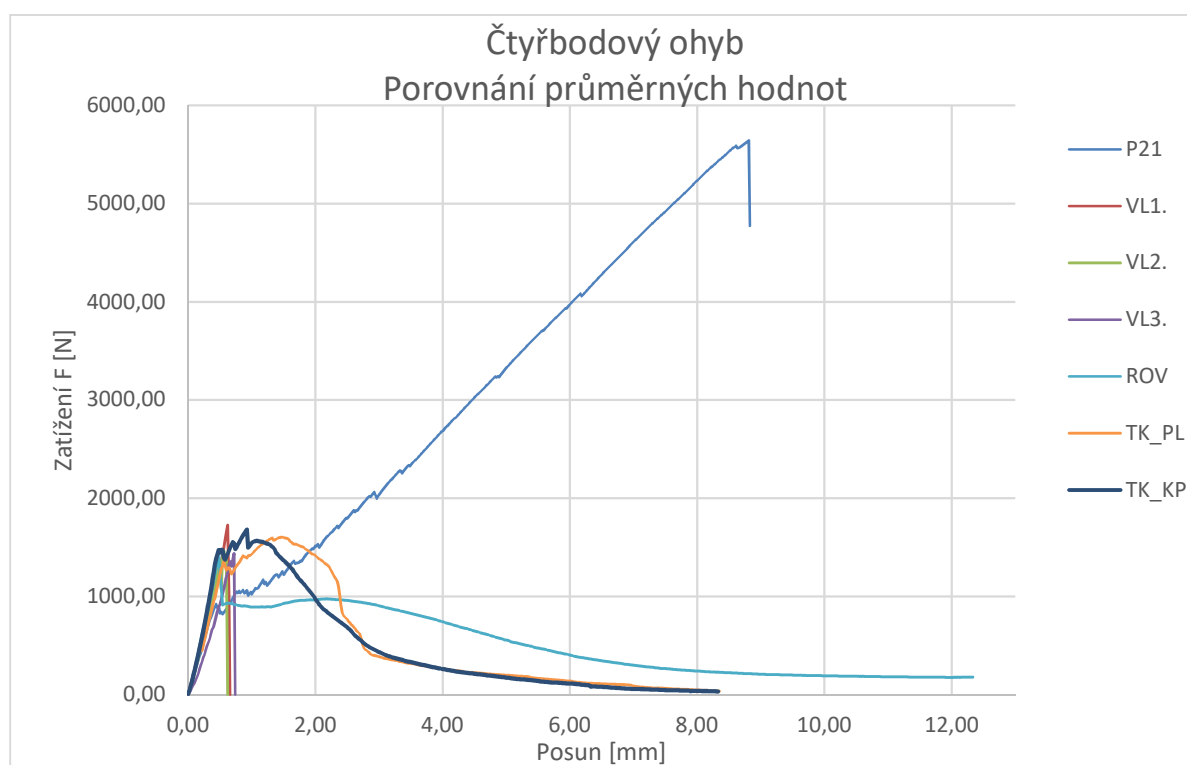




*Obr. 54: Tlakové porušení krychle*

### 3.1.3 Shrnutí

Z uvedených výsledků lze vidět, že největší zatížení při podobném vyztužení přenesly vzorky P21x. Jako u jediného ze vzorků zde byla vlákna opatřena epoxidovou pryskyřicí, která zajistila zapojení všech vláken v jeden moment. Také jako jediný vzorek (kromě vzorku s rozptýlenými vlákny, u kterých nelze výsledky brát relevantně) nevykázal varovný signál před porušením. Křehký lom je zcela nepřijatelný v konstrukčních prvcích. Oproti tomu vzorky vyztužené pouhými vlákny nevykázaly takové únosnosti, ale žádný z prvků nekolaboval náhle. Uhlíková vlákna nepojená matricí mezi sebou nespolupůsobí, a tak se aktivují nezávazně na sobě. Lze konstatovat, že vlákna, která při povrchu s betonem spolupůsobí, mají své pevnostní limity vyčerpány, oproti vláknům nekontaktních s betonem, u kterých nastává aktivace ponížená prokluzem. Tento jev zabraňuje náhlému kolapsu kce.



Obr. 55: Čtyřbodový ohyb – porovnání průměrných hodnot



## Souhrn naměřených údajů

výztuž	vzorek	b [mm]	c [mm]	d <sub>prům</sub> [mm]	A <sub>f</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	A <sub>m</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	A <sub>k</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	σ <sub>k</sub> [MPa]	σ <sub>c</sub> [MPa]	F <sub>max</sub> [kN]	M <sub>max</sub> [kNm]
s maticí	1P21	100	17,3	13,0			170	4050	133	7,56	0,378
	2P21	100	18,2	12,6			170	4050	133	5,64	0,282
	3P21	100	18,5	13,0			170	4050	133	6,56	0,328
	4P21	100	18	14,4			170	4050	133	6,41	0,320
	5P21	100	17,7	12,3			170	4050	133	5,04	0,252
	6P21	100	17,5	14,0			170	4050	133	5,96	0,298
Vlákna 20kg/m <sup>3</sup>	VL1.1.	100	18,8		106	0	106	4000	133	2,00	0,100
	VL1.2.	100	18,1		106	0	106	4000	133	1,47	0,073
	VL1.3.	100	19,5		106	0	106	4000	133	1,86	0,093
	VL1.4.	100	18,5		106	0	106	4000	133	1,75	0,088
Vlákna 10kg/m <sup>3</sup>	VL2.1.	100	19,4		53	0	53	4000	133	1,71	0,086
	VL2.2.	100	19,5		53	0	53	4000	133	1,87	0,094
	VL2.3.	100	18,2		53	0	53	4000	133	1,41	0,071
	VL2.4.	100	17,8		53	0	53	4000	133	1,43	0,072
Vlákna 5kg/m <sup>3</sup>	VL3.1.	100	19,3		27	0	27	4000	133	1,70	0,085
	VL3.2.	100	18,2		27	0	27	4000	133	1,62	0,081
	VL3.3.	100	15,5		27	0	27	4000	133	1,25	0,062
	VL3.4.	100	16		27	0	27	4000	133	1,56	0,078
Tkanina plátno	TK_PL1.	100	20,5	13,5	170	0	170	4000	133	1,56	0,078
	TK_PL2.	100	18,8	12,9	170	0	170	4000	133	1,54	0,077
	TK_PL3.	100	20,6	15,6	170	0	170	4000	133	1,96	0,098
Tkanina kepr	TK_KP1.	100	20,4	15,3	170	0	170	4000	133	1,85	0,093
	TK_KP2.	100	20,1	13,3	170	0	170	4000	133	1,78	0,089
	TK_KP3.	100	20,4	16,2	170	0	170	4000	133	1,60	0,080
roving	ROV1.	100	18,9	19,2	85	0	85	4000	133	1,70	0,085
	ROV2.	100	20,2	16,9	85	0	85	4000	133	1,33	0,067
	ROV2.	100	19,8	18,8	85	0	85	4000	133	1,48	0,074

Tab. 4: Naměřené hodnoty



vzorek	b [mm]	c [mm]	d <sub>prům</sub> [mm]	A <sub>f</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	A <sub>m</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	A <sub>k</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	σ <sub>f</sub> [MPa]	σ <sub>c</sub> [MPa]	F <sub>max</sub> [kN]	M <sub>max</sub> [kNm]	Redukce M <sub>max</sub> na b = 100 mm [kNm]
S-P1	100	17,6	13,5	36,2	96,7	136	4400	138	3,55	0,177	0,177
S-P2	101	17,8	14,4	36,2	96,7	136	4400	138	3,36	0,168	0,167
S-P3	101	16,7	13,2	36,2	96,7	136	4400	138	2,91	0,145	0,144
S-P4	100	17,6	14,3	36,2	96,7	136	4400	138	3,68	0,184	0,184
S-H1	100	18,3	15,0	36,2	96,7	136	4400	138	3,90	0,195	0,195
S-H2	100	17,9	14,6	36,2	96,7	136	4400	138	3,12	0,156	0,156
S-H3	101	19,1	16,3	36,2	96,7	136	4400	138	4,43	0,221	0,219
S-H4	95	21,2	17,8	36,2	96,7	136	4400	138	4,54	0,227	0,239
S-H5	104	19,9	14,6	36,2	96,7	136	4400	138	3,69	0,185	0,178
D1a	422	21,9				140	uh. Vlákná	20,6	10,84	1,080	0,256
D1b	425	22,4				140	uh. Vlákná	20,6	11,20	1,120	0,264
1KL	400	18					-	50	1,00	0,100	0,025
2KL	400	18					čedič. tkan.	50	0,95	0,095	0,024
3KL	400	18					-	UHPC	1,15	0,115	0,029
4KL	400	18					čedič. tkan.	HPC	1,25	0,125	0,031
5KL	400	18					čedič. tkan.	HPC	1,00	0,100	0,025
1TH	425	25					uh. Vlákná	LC	13,30	1,330	0,313
2TH	425	25					uh. Vlákná	LC	13,90	1,390	0,327
D1	400	18	15,0			174	skelná. vl.	33	0,58	0,087	0,022
D2	400	18	15,0			174	1100	33	1,80	0,270	0,068
xP21	100	17,8	13,2			170	4050	133	6,19	0,31	0,31
VL1.x.	100	18,7		106		106	4000	133	1,77	0,088	0,088
VL2.x.	100	18,7		53		53	4000	133	1,66	0,08	0,08
VL3.x.	100	17,3		27		27	4000	133	1,53	0,077	0,077
TK_PLx.	100	20	14	170		170	4000	133	1,69	0,084	0,084
TK_KPx.	100	20,3	14,9	170		170	4000	133	1,74	0,087	0,087
ROVx.	100	19,3	18,3	85		85	4000	133	1,5	0,075	0,075

Tab. 5: Porovnání jiných zdrojů [27] [21] [28] [8]

Poznámky:

- Převzato z bakalářské práce Žalský Jiří. Vzorky vyztuženy uhlíkovým vláknem s matricí.
- Vzorek S-P vlákna s pískovaným povrchem.
- Vzorek S-H vlákna s hladkým povrchem.
- Vlastní výroba kompozitu.



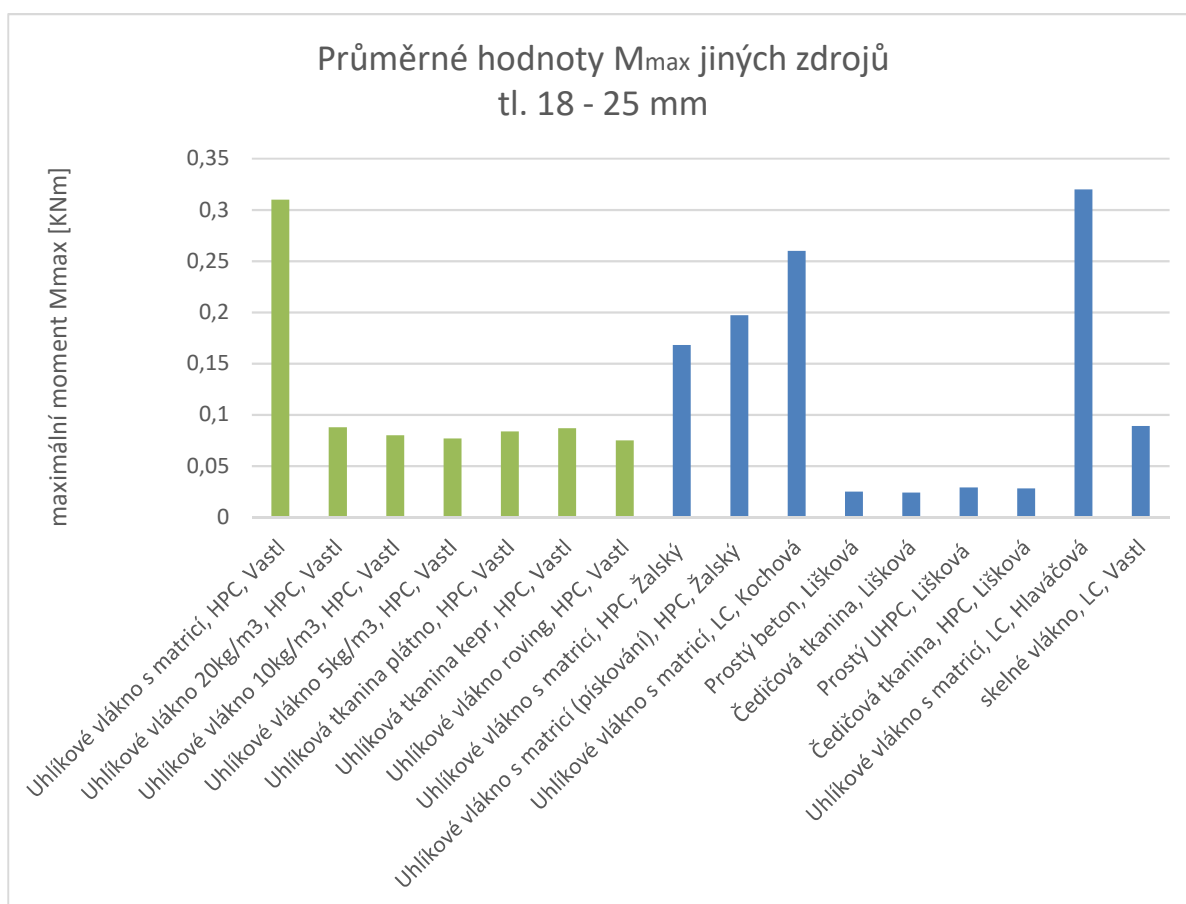
- Převzato z diplomové práce Aleny Kochové. Vzorky 600/400 mm přepočteny na šíři 100 mm.
- Vzorky vyztuženy uhlíkovým vláknem s matricí při horním i spodním povrchu.

- Převzato z diplomové práce Kateřiny Liškové. Vzorky 600/400 mm přepočteny na šíři 100 mm.
- Vzorky vyztuženy čedičovými tkaninami.
- Konkrétní diplomová práce Kateřiny Liškové nebyla nalezena, informace převzaty z diplomové práce Aleny Kochové.

- Převzato z diplomové práce Terezy Hlaváčové. Vzorky 600/400 mm přepočteny na šíři 100 mm.
- Konkrétní diplomová práce Terezy Hlaváčové nebyla nalezena, informace převzaty z diplomové práce Aleny Kochové.

- Převzato z bakalářské práce Františka Vastla. Vzorky 700/400 mm přepočteny na šíři 100 mm.
- Vzorky vyztuženy 3D skelnou sítí.

- Průměrné hodnoty výsledků diplomové práce.



Obr. 56: Srovnání průměrných hodnot  $M_{max}$  s jinými zdroji (modrá barva) – tl. 18 – 25 mm  
[27] [21] [28] [8]



### 3.2 Matematická analýza prvků

U všech vzorků bylo použito přibližně stejné množství výztuže, tedy teoretická pevnost by měla být stejná. Odlišnost vzorků je dána především nespoleupůsobením výztuže s betonem a rozdílnou účinnou výškou.

#### Porovnání smykové pevnosti s výpočtovou smykovou pevností dle Eurokódu 2

Smyková pevnost betonu je zjištěna z naměřených vzorků s impregnovanou výztuží. Vzorky byly porušeny smykově.

	vzorek	b [mm]	c [mm]	$\sigma_c$ [MPa]	$F_{max}$ [kN]	$\tau_{cp}$ [MPa]
s matricí	1P21	100	17,3	133	7,56	2,18
	2P21	100	18,2		5,64	1,55
	3P21	100	18,5		6,56	1,77
	4P21	100	18		6,41	1,78
	5P21	100	17,7		5,04	1,42
	6P21	100	17,5		5,96	1,70

Tab. 6: Hodnoty vyztuženého vzorku s impregnovanou výztuží

	vzorek	b [mm]	c [mm]	$\sigma_c$ [MPa]	$F_{max}$ [kN]	$\tau_{cp}$ [MPa]
s matricí	xP21	100	17,8	133	6,19	1,74

Tab. 7: Průměrné hodnoty vyztuženého vzorku impregnovanou výztuží

Vstupní parametry:

$$A_{CC} = b * c = 100 * 17,8 = 1780mm^2$$

$$V_{ED} = F_{max}/2 = 6,19/2 = 3,095kN$$

$$f_{ck} = 133MPa$$

Smyková pevnost betonu

$$\tau_{cp} = kV_{Ed}/A_{CC} = (1 * 3095)/1780 = \mathbf{1,74MPa}$$

Teoretická smyková pevnost

$$f_{ctk;0.05} = (2,12 * \ln(1 + ((f_{ck} + 8)/10))) * 0,7 = (2,12 * \ln(1 + ((133 + 8)/10))) * 0,7 \\ = 4,0MPa$$

$$f_{ctd,pl} = \frac{f_{ctk;0.05}}{\gamma_C} = \frac{4,0}{1} = 4MPa$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_{CC} = 0/1780 = 0MPa$$

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd,pl}^2 + \sigma_{cp}f_{ctd,pl}} = \sqrt{4^2 + 0} = 4MPa$$

$$\tau_{cp} = f_{cvd}$$

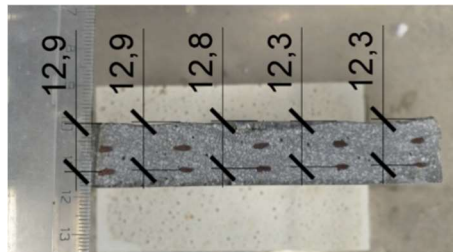
$$1,74MPa \neq 4MPa$$

Lze vidět, že výpočet dle Eurokódu nelze uplatnit a že betony vysokých pevností nemají úměrné vlastnosti ve smyku jako v tlaku. Je třeba k návrhu přihlížet s rozvahou a opatrností. Porušený beton o průměrné krychelné pevnosti 133 MPa vykazuje smykovou pevnost jako betony pevnosti C25/23.

### Porovnání ohybové únosnosti s výpočtovou ohybovou únosností dle Eurokódu 2

Zkoušené prvky byly porušeny různými typy porušení. Jednalo se o porušení smykem a zejména o nedokonalé spolupůsobení betonu s výztuží. Výpočet dokazuje možný nevyužitý potenciál uhlíkové výztuže.

Vstupní neznámé parametry:



Obr. 57: Určení účinné výšky  $d$





výztuž	vzorek	b [mm]	c [mm]	d <sub>prům</sub> [mm]	A <sub>f</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	A <sub>m</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	A <sub>k</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> /prvek]	σ <sub>k</sub> =f <sub>yd</sub> [MPa]	σ <sub>c</sub> =f <sub>cd</sub> [MPa]	F <sub>max</sub> [kN]	M <sub>max</sub> [kNm]	využití ohybové únosnosti [%]
s matricí	1P21	100	17,3	13,0			170	8,5	4050	133	7,56	0,378	101
	2P21	100	18,2	12,6							5,64	0,282	78
	3P21	100	18,5	13,0							6,56	0,328	88
	4P21	100	18	14,4							6,41	0,320	76
	5P21	100	17,7	12,3							5,04	0,252	72
	6P21	100	17,5	14,0							5,96	0,298	73
Tkanina plátno	TK_PL1.	100	20,5	13,5	170	0	170	8,5	4000	133	1,56	0,078	20
	TK_PL2.	100	18,8	12,9	170	0					1,54	0,077	21
	TK_PL3.	100	20,6	15,6	170	0					1,96	0,098	21
Tkanina kepr	TK_KP1.	100	20,4	15,3	170	0	170	8,5	4000	133	1,85	0,093	21
	TK_KP2.	100	20,1	13,3	170	0					1,78	0,089	23
	TK_KP3.	100	20,4	16,2	170	0					1,60	0,080	17
roving	ROV1.	100	18,9	17,9	85	0	85	8,5	4000	133	1,70	0,085	16
	ROV2.	100	20,2	18,9	85	0					1,33	0,067	12
	ROV2.	100	19,8	18,8	85	0					1,48	0,074	13

Tab. 8: Využití prvků na mezní stav únosnosti

Poznámka: U vláken byly uvažovány maximální pevnosti udávané výrobcem.

U betonů dosahujících vrchních hodnot normových hranic se součinitele snižují. Pokud budeme ignorovat horní hranice, lze určit součinitele  $\lambda$ ,  $\eta$ .

$$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400; 50MPa < f_{ck} < 90MPa$$

$$\eta = 1,0 - (f_{ck} - 50)/200; 50MPa < f_{ck} < 90MPa$$

$$\lambda, \eta = 0,6$$

Výpočet ohybové únosnosti

$$x_c = \frac{A_s f_{yd}}{\lambda \eta f_{cd} b}$$

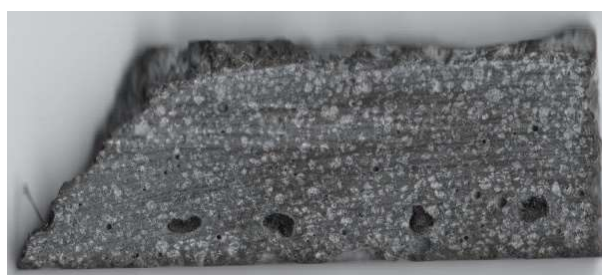
$$x_c = \frac{A_s f_{yd}}{\lambda \eta f_{cd} b}; Z_c = d - 0,5 \lambda x_c$$

$$m_{Rd} = A_s f_{yd} Z_c$$

$$m_{Rd} \geq M_{max}$$

Z naměřených výsledků lze vidět, že u neimpregnovaných vláken se projevilo vysoké nespolutůsobení a teoretická únosnost prvků vykazuje 80% rezervy v únosnosti.

Po průzkumu vzorků je možné si všimnout, že vlákna nejsou spojena s betonem viz obrázky pod textem, namísto toho tvoří chomáč se spoustou nezávislých vláken. To se týká vzorků vyztužených rovingem. Vzorky vyztužené tkaninou vykazují lepší soudržnost, zejména druhá vrstva, která se zdá být lépe spojena oproti vrstvě první. Ale nelze zapomenout, že první vrstva byla vystavena tahu, který vrstvy rozdělil viz obr.60.



*Obr. 58: Řez prvkem, prvek vyztužený rovingem*



*Obr. 59: Detail rovingu – nespolutůsobení vláken s betonem*



*Obr. 60: Vzorek vyztužený tkaninou*



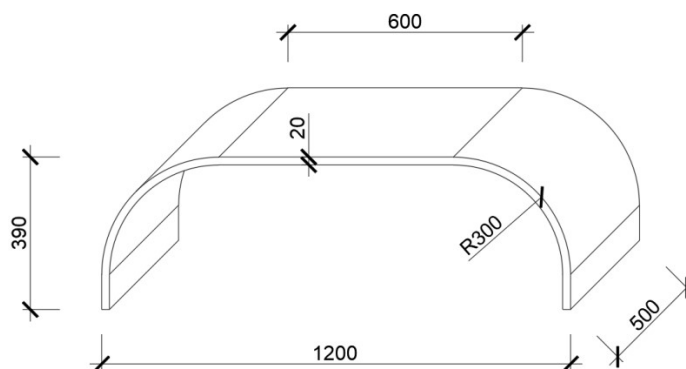
*Obr. 61: Detail vzorku s tkaninou – nespolutůsobení tkaniny s betonem*

### 3.3 Aplikace TRC

Jako nejlepší výztuž po sérii testů vyšla uhlíková síť opatřena epoxidovou pryskyřicí. Jako jediná uspokojivě spolupůsobila a přenášela tahové napětí v betonu. Z tohoto důvodu bude výztuž aplikována do konkrétního typu výrobku. Jedná se o jednoduchý prvek mobiliárního charakteru. Tento druh konstrukce vyžaduje vysokou trvanlivost na povětrnostních podmínkách a zároveň tenkou konstrukci z hlediska estetiky, ekonomiky, dopravy, atd. Při povrchu největšího namáhání je výrobek vyztužen uhlíkovými vlákny, které umožňují přenášení vysokých vnitřních sil a minimalizaci krycí vrstvy. Konečná pevnost je vypočtena matematickým modelem, který je podroben zátěžové zkoušce na třibodový ohyb. Na objektu je zkoumán vliv nepřesného umístění výztuže.

#### Lavička

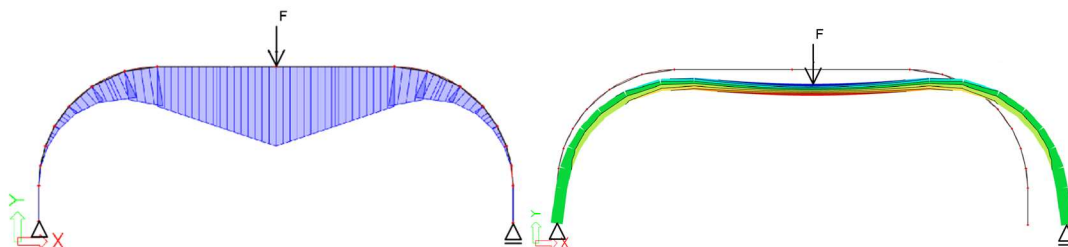
Jako reprezentativní vzorek mobiliárního typu byla vybrána lavička. Lavička jednoduchého tvaru do písmene U o tloušťce desky 20 mm.



Obr. 62: Model lavičky

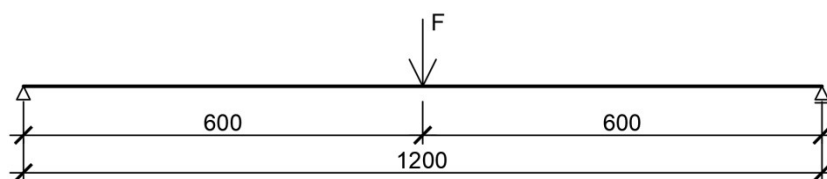
## Výpočetní model

Výpočetní model je postaven dle Eurokódu 2. Na modelu je prověřena maximální únosnost prvku. Dále je zkoumán vliv polohy výztuže na únosnost a vznik prvních trhlin.



Obr. 63: Momentový průběh po konstrukci, napětí po konstrukci

Z momentového průběhu lze vidět, že moment na celé kci je kladný a nejrizikovějším místem porušení je střed konstrukce. Z tohoto důvodu je možné idealizovat kci na rovinný prostý nosník.



Obr. 64: Idealizace konstrukce



Obr. 65: Maximální únosnosti lavičky při změnách polohy výztuže, tříbodový ohyb



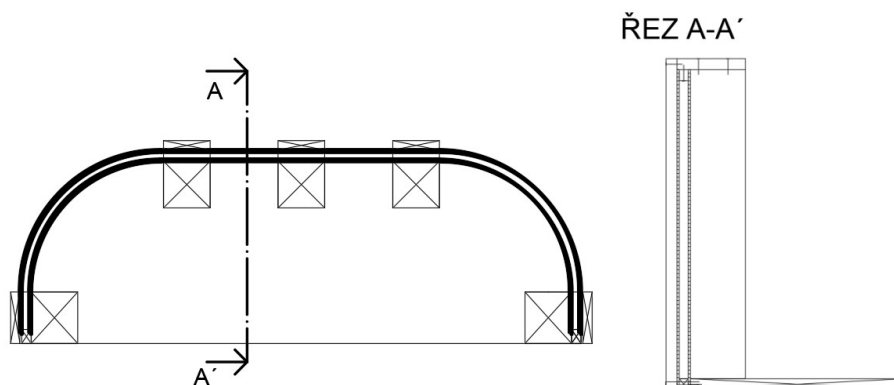
Graf znázorňuje několik situací, které mohou nastat. Symbol  $F_{max}$  (smyk) znázorňuje maximální únosnost lavičky. Při vyšším zatížení se beton poruší ve smyku. Dále je série symbolů  $F_{max}$  ( $d=x\text{mm}$ ). Tyto symboly ukazují polohu výztuže od horní hrany lavičky. Při ukládání a fixaci výztuže dochází k nechtěným změnám poloh výztuže. Zde na grafu je vidět, jaké se může očekávat snížení únosnosti při určité změně polohy výztuže. Poslední symbol  $F_{max,c}$  ukazuje pevnostní hranici, do které se v betonu neobjevují trhliny.

vzorek	b [mm]	c [mm]	$d_{prům}$ [mm]	$A_k$ [mm <sup>2</sup> /m]	$A_s$ [mm <sup>2</sup> /prvek]	$\sigma_k=f_{yd}$ [MPa]	$\sigma_c=f_{cd}$ [MPa]	$\sigma_b$ [MPa]	$F_{max,c}$ [kN]	$M_{max,c}$ [kNm]	$F_{max}$ [kN]	$M_{max}$ [kNm]	využití ohybové únosnosti [%]	$\tau_{cp}$ [MPa]	využití smykové únosnosti [%]
lavička	500	20	18,0	85	42,5	4050	133	16,7	1,856	0,56	9,00	2,70	100	1,74	52
			16,0								7,93	2,38	100		46
			13,0								6,20	1,86	100		36
			10,0								4,50	1,35	100		26
			7,0								2,77	0,83	100		16

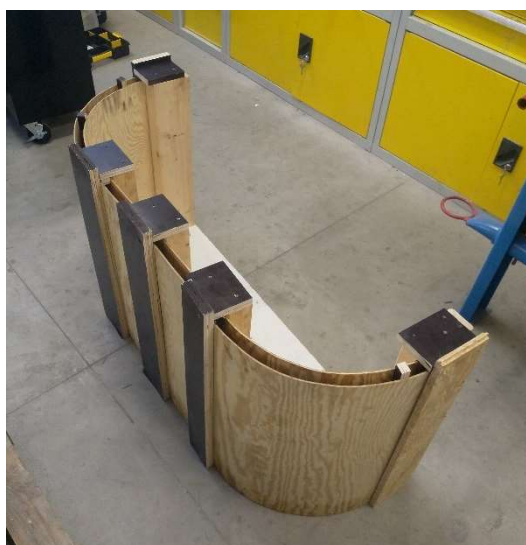
Obr. 66: Maximální únosnosti lavičky při změnách polohy výztuže, tříbodový ohyb

## Výroba

Výroba lavičky probíhala v prostorách UCEEB. Bednění je tvořeno z překližky tl. 4 mm, která po namočení umožnila tvořit oblé tvary. Oporou překližky jsou nosné trámky, které drží tvar překližky. Celé bednění je situované pro betonáž z boční strany lavičky.



Obr. 67: Půdorys bednění, řez bedněním



Obr. 68: Bednění

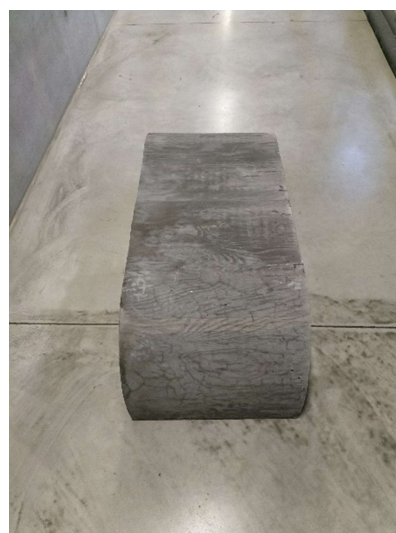
Vyztužení lavičky je v jedné řadě při spodním povrchu. V rané fázi přípravy byl předpoklad vyztužení lavičky u obou povrchů. Technologické překážky a náročnost na udržení správných distancí obou výztuží pozměnily návrh z dvou výztuží na jednu výztuž. Výztuž byla kladena ve formě sítě a krycí vrstva byla zajištěna kovovými sponami.



Nálevná strana při betonáži byla hrana lavičky. Vertikální betonáž umožnila snazší kotvení výztuže a minimalizaci nálevné plochy z důvodu maximální pohledové plochy. Uložená směs nebyla hutněna vibračními nástroji, jen poklepem na stěny formy.



*Obr. 69: Lavička*



*Obr. 70: Lavička detail, boční pohled*





*Obr. 71: Lavička - pohled z boku*



*Obr. 72: Detail textury, defektu*

Povrch lavičky úspěšně obtiskl dýhu překližky a vytvořil dřevěnou texturu na betonu. Na místech (5% plochy) lavičky se betonový povrch odloupl. I když na bednění byl aplikován odbedňovací přípravek, dřevěná překližka přesto odebrala vodu ze směsi a způsobila tento vizuální defekt.



Lavička s rozměry 1200 x 500 x 390 mm (délka x šířka x výška) a tloušťky 20 mm vykazuje hmotnost 38,5 kg.



## 4 Závěr

Cílem práce bylo analyzovat typy uhlíkové výztuže ve vysokohodnotném betonu. Analýza TRC prvků probíhala laboratorní a matematickou cestou. Na závěr byla aplikována uhlíková výztuž, která nejlépe vyhověla v testech na konkrétní mobilární prvek. Jednalo se o městskou lavičku, na které se vyzkoušela aplikace výztuže a celý proces výroby. Poté byla lavička numericky analyzována na únosnost, a to v závislosti na poloze výztuže.

Laboratornímu zkoumání bylo podrobena několik vzorků s rozdílnou výztuží. Jeden vzorek představoval výztuž s matricí. Tento vzorek splnil očekávání. Maximální spolupůsobení při zatížení.

Další vzorky nebyly chráněny a pojeny pryskyřicí. Výsledky těchto vzorků byly podobné. Při zatížení nedocházelo k plné aktivaci všech vláken najednou. Vlákná mezi sebou prokluzovala a chovala se samostatně. To způsobilo, že při porušení betonu v tahu za ohybu nebyla aktivována všechna vlákna naráz. Výztuž vykazovala vysokou nesoudržnost s betonem a rostoucí trend po vzniku prvních trhlin se rychle obrátil směrem dolů, poté byl pozvolný. Pozvolné snížení únosnosti představuje zcela rozdílné porušení, nežli u výztuží pojených matricí, které po vyčerpání své únosnosti kolabují. Lze konstatovat, že vlivem nižší soudržnosti měníme průběh únosnosti prvků, které jsou v některých případech důležitější.

Průzkum byl zaměřen, zda pojící matrici lze nahradit betonovou směsí. Výsledky ukázaly, že absence pojící matrice snižuje soudržnost, která ovlivňuje únosnost prvků. Betonová směs pojila především povrchová vlákna výztuže. Například u silných rovingů vnitřní vlákna nepřišla do kontaktu s betonovou směsí. Při optimalizaci betonové směsi a při použití slabších výztuží je možné očekávat zlepšení soudržnosti.

Poslední aplikace výztuže byla ve formě sekaného rovingu 1,5 – 2,5 cm. Roving se při míchacím procesu vlhké směsi zachytil na lopatkách míchacího stroje a všechny vzorky byly znehodnoceny. Vzorky vykazovaly podobné vlastnosti jako beton prostý.

Matematická analýza prvků dala představu o možném pevnostním potenciálu vyztužených prvků. Při výpočtu se postupovalo podle Eurokódu 2. Eurokód 2 není určen pro betony vysokých pevností zde používaných, zejména pro ověření smykové pevnosti. Výpočet teoretické smykové pevnosti vykazoval o více než 100% větší pevnost. Poukázalo se tak na nepřítomnost velkých zrn kameniva, která se při smykovém namáhání o sebe lépe opírají.



Poslední částí práce byla aplikace výztuže do konkrétního prvku. Jako výztuž byla zvolena uhlíková síť opatřena matricí ve formě epoxidové pryskyřice. Vzorek s touto výztuží vykázal nejlepší laboratorní výsledky. Mobilním prvkem byla zvolena lavička. Lavička již nebyla zatěžována. Byl proveden pouze matematický výpočet únosnosti. Výroba poukázala na některé technologické překážky, zejména obtížnost přesného umístění výztuže. Problém s polohou výztuže byl na matematickém modelu simulován a výsledné odklony polohy výztuže byly zaznamenány graficky se změnou únosnosti.

Během řešení práce vyvstaly neočekávané problémy, které by bylo vhodné podrobně analyzovat. V další fázi výzkumu doporučuji zaměřit se na: 1) aplikaci vláken do směsi a úpravu technologie míchání. 2) Úpravu betonové směsi pro stříkanou aplikaci na tkaninové výztuže a pro lepší spojení betonu s vlákny. 3) Zvolení jiných typů výztuží, zejména jemnějších, které umožní lepší spojení se směsí. 4) Vhodné ošetření bednění, tj. zejména na přípravky, které zamezují vstřebávání vody ze směsi.



## Použité zdroje

- [1] J. JANČÁŘ, ÚVOD DO MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ POLYMÉRNÁCH KOMPOZITŮ, Brno: VUT fakulta Chemická, 2003.
- [2] „WIKIPEDIE Otevřená encyklopedie,“ 12 Listopad 2015. [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Roving>. [Přístup získán 7 Květen 2017].
- [3] „WIKIPEDIE Otevřená encyklopedie,“ 27 Duben 2017. [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Filament>. [Přístup získán 7 Květen 2017].
- [4] Svaz výrobců betonů ČR, „Ebeton,“ [Online]. Available: <http://www.ebeton.cz/pojmy/smrstovani-betonu>. [Přístup získán 24 Listopad 2018].
- [5] „WIKIPEDIE Otevřená encyklopedie,“ 2 Zář 2018. [Online]. Available: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Prekursor\\_\(chemie\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Prekursor_(chemie)). [Přístup získán 2 Prosinec 2018].
- [6] „WIKIPEDIE Otevřená encyklopedie,“ 4 Leden 2017. [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ablace>. [Přístup získán 2 Prosinec 2018].
- [7] P.-C. Aitcin, Vysokohodnotný beton, Praha: Informační centrum ČKAIT, 2005.
- [8] F. VASTL, *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE - Návrh konferenčního stolku z lehkého betonu vyztuženého sítěmi*, Praha, 2017.
- [9] J. L. VÍTEK a R. COUFAL, „VYSOKOPEVNOSTNÍ BETONY,“ *BETONOVÉ KONSTRUKCE 21. STOL*, p. 44.
- [10] M. KALNÝ, J. KOMANEC, J. VÍTEK, V. KVASNIČKA, R. BROŽ, KOUKOLÍK, Petr a R. COUFAL, „LÁVKA PŘES LABE V ČELÁKOVICÍCH - PRVNÍ NOSNÁ KONSTRUKCE Z UHPC V ČR,“ *BETON*, pp. 10-18, 2014/4.
- [11] J. FLÁDR, „ČVUT katedra betonových konstrukcí,“ [Online]. Available: [http://people.fsv.cvut.cz/~fladrjos/vyuka/YVHB/02\\_navrh\\_slozeni.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/~fladrjos/vyuka/YVHB/02_navrh_slozeni.pdf). [Přístup získán 18 listopad 2018].
- [12] M. PAVLÍKOVÁ, Z. PAVLÍK a J. HOŠEK, *Materiálové inženýrství I*, Praha: ČVUT, 2008, pp. 133-134.
- [13] O. ZEMAN, *Petrografie a regionální geologie Českého masivu*, Praha: ČVUT Fakulta stavební, 1994.
- [14] „ОГНЕННЫЙ КАМЕНЬ,“ 30 Listopad 2015. [Online]. Available: [http://kamenca.ru/articles/?ELEMENT\\_ID=19760](http://kamenca.ru/articles/?ELEMENT_ID=19760). [Přístup získán 19 Listopad 2018].
- [15] Hornicko geologická fakulta, „Vodohospodářské zařízení I,“ *Vysoká škola Báňská*, [Online]. Available: <http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ1/vyuka/hmoty/kamenivo.html>. [Přístup získán 19 Listopad 2018].
- [16] A. OEBBEKE, „Bbaulinks,“ [Online]. Available: <http://www.baulinks.de/webplugin/2011/1504.php4>. [Přístup získán 26 Listopad 2018].
- [17] B. HUNTER, „Innovation In Textiles,“ [Online]. Available:



- <http://www.innovationintextiles.com/textile-concrete-bridge-in-albstadt-lautlingen/>. [Přístup získán 26 Listopad 2018].
- [18] „THE CONCRETE COUNTERTOP INSTITUTE,“ [Online]. Available: <https://concretecountertopinstitute.com/free-training/why-you-should-be-using-gfrc-for-your-concrete-projects/>. [Přístup získán 26 Listopad 2018].
- [19] J. GIRARD, „CONCRETE DECOR,“ [Online]. Available: <http://www.concretedecor.net/decorativeconcretearticles/vol-13-no-7-october-2013/casting-thin-concrete-furniture-with-gfrc/#prettyPhoto>. [Přístup získán 26 Listopad 2018].
- [20] F. GIRGLE, J. PROKEŠ, O. JANUŠ, V. KOSTIHA a P. ŠTĚPÁNEK, „Kompozitní vyztuž do betonu - perspektivní materiál pro odolné a trvanlivé konstrukce,“ *BETON*, č. 2, pp. 50-55, 2017.
- [21] A. KOCHOVÁ, „DIPLOMOVÁ PRÁCE - Mechanické vlastnosti betonových desek vyztužených tkaninami,“ 2016.
- [22] e-LTex, „skolatextilu,“ [Online]. Available: <http://www.skolatextilu.cz/elearning/439/textilni-terminologie-zboziznalstvi/tkaniny/Platnova-vazba-P.html>. [Přístup získán 1 Prosinec 2018].
- [23] A. LEGENDRE, UHLÍKOVÉ MATERIÁLY - Od černé keramiky k uhlíkovým vláknům, Paris: Editions Eyrolles, 1992.
- [24] „WIKIPEDIE Otevřená encyklopedi,“ 6 Zář 2018. [Online]. Available: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Uhlíkové\\_vláknno](https://cs.wikipedia.org/wiki/Uhlíkové_vláknno). [Přístup získán 2 Prosinec 2018].
- [25] *ČSN EN 1992-1-1 (731201), Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.*
- [26] K. HAZUCHOVÁ, Cvičebnice stavební mechaniky II, Opava, 2014.
- [27] J. ŽALSKÝ, BAKALÁŘSKÁ PRÁCE - Numerická analýza rámového rohu vyztuženého textilní uhlíkovou výztuží, Praha, 2018.
- [28] K. LIŠKOVÁ, DIPLOMOVÁ PRÁCE - Chování tenkostěnných betonových desek vyztužených textilií, Praha, 2013.
- [29] „TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta textilní,“ 16 Zář 2004. [Online]. Available: <https://skripta.ft.tul.cz/akreditace/data/2004-12-16/09-21-02.ppt>. [Přístup získán 27 Duben 2017].
- [30] „Gravelli,“ [Online]. Available: <https://shop.gravelli.com/>. [Přístup získán 30 Duben 2017].
- [31] M. FOGAR a kolektiv, BETONOVÉ KONSTRUKCE 3, Praha: ČVUT, 2011.
- [32] L. SVOBODA a kolektiv, STAVEBNÍ HMOTY, 3 editor, Praha: ČVUT, 2013.
- [33] „solidia,“ [Online]. Available: <http://www.solidian.com/produkte/ebene-bewehrung/>. [Přístup získán 20 Květen 2017].
- [34] A. . Vezzosi, Leonardo da Vinci: Renaissance Man, editor, sv. , , : , 1997, p. .
- [35] *ČSN EN 12390 - Zkoušení ztvrdlého betonu.*
- [36] *ČSN EN 1015-11 - Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdělých malt v tahu za ohybu a v tlaku.*



## **Použitý software**

AutoCAD 2018

SCIA Engineer 18.1

Microsoft Office 2016



## Seznam obrázků

Obr. 1: Lake point Tower 1965 $F_c = 53 \text{ MPa}$ [6].....	23
Obr. 2: Vývoj a směry vysokohodnotného betonu [7] .....	24
Obr. 3: Most v Čelákovících [8].....	25
Obr. 4: Mostovka [8] .....	26
Obr. 5: Stanovení vodního součinitele [9].....	28
Obr. 6: Stanovení měrného povrchu kameniva [9].....	28
Obr. 7: Vliv vodního součinitele na pevnost betonu [10, p. 448] .....	29
Obr. 8: Křivka zrnitosti [13] .....	30
Obr. 9: Typy plastifikačních přísad [6, p. 80] .....	31
Obr. 10: Uhlíková vlákna pojena epoxidovou pryskyřicí (matricí).....	33
Obr. 11: Porovnání použitých výztuží.....	34
Obr. 12: Fasádní panel [14] .....	35
Obr. 13: Technologie GFRC [16].....	35
Obr. 14: Kladení textilie [17] .....	36
Obr. 15: Lehčený beton s 3D výztuží [5] .....	36
Obr. 16: Vlastnosti nejčastěji používaných organických matric [1, p. 16] .....	38
Obr. 17: Jemnost.....	39
Obr. 18: Hmotnostní podíl.....	39
Obr. 19: Uspořádaná vlákna v matrici [1, p. 15] .....	40
Obr. 20: Typy základních tkanin – a) plátňová vazba b) dvounitná plátňová vazba c) Keprova vazba d) Atlasová [1, p. 73] [21].....	41
Obr. 21: Schéma pleteninové výztuže [1, p. 73] .....	41
Obr. 22: Dělení nejčastěji využívaných vláken [1, p. 62] .....	42
Obr. 23: Srovnání fyzikálních vlastností [22, p. 119] .....	42
Obr. 24: Uhlíkové vlákno o průměru $6 \mu\text{m}$ v porovnání s lidským vlasem [23].....	43
Obr. 25: Zkouška na čtyřbodový ohyb .....	46
Obr. 26: Vnitřní síly vyztuženého betonového průřezu [26, p. 13].....	46
Obr. 27: Solidian GRID Q85/85-CCE-21 .....	49
Obr. 28: Roving .....	50
Obr. 29: Tkanina typ plátno.....	50





Obr. 30: Tkanina typ kepr .....	50
Obr. 31: Forma s různými typy výztuží .....	52
Obr. 32: Napnutí vláken v distanci od spodního povrchu 2 mm .....	52
Obr. 33: Čtyřbodový ohyb – uhlíková výztuž s epoxidovou matricí.....	53
Obr. 34: Rozvoj trhlin .....	54
Obr. 35: Porušení všech vzorků xP21 .....	54
Obr. 36: Smykové porušení vzorků .....	55
Obr. 37: Čtyřbodový ohyb – rozptýlená vlákna, roving 24K, 1600 tex; 20 kg/m <sup>3</sup> .....	55
Obr. 38: Čtyřbodový ohyb – rozptýlená vlákna, roving 24K, 1600 tex; 10kg/m <sup>3</sup> .....	56
Obr. 39: Čtyřbodový ohyb – rozptýlená vlákna, roving 24K, 1600 tex; 5 kg/m <sup>3</sup> .....	56
Obr. 40: Čtyřbodový ohyb – porovnání průměrů rozptýlených vláken dle množství vláken .....	57
Obr. 41: Čtyřbodový ohyb – tkanina, vazba plátno 3K, 160 g/m <sup>2</sup> .....	58
Obr. 42: Čtyřbodový ohyb – tkanina, vazba kepr 3K, 160 g/m <sup>2</sup> .....	58
Obr. 43: Vodorovná trhlina – ztráta spolupůsobení s betonem.....	59
Obr. 44: Úlomek po zkoušce – nepropojení betonu a tkaniny.....	59
Obr. 45: Vyztužený vzorek, krycí vrstva 2 mm .....	60
Obr. 46: Prokreslení vláken.....	60
Obr. 47: Čtyřbodový ohyb – roving 24K, 1600 tex, osová vzdálenost 10 mm .....	60
Obr. 48: Vzorek po zkoušce – neporušená vlákna, jen vytažena.....	61
Obr. 49: Vytažení vláken vlastní silou.....	61
Obr. 50: Ohybová a tlaková zkouška .....	62
Obr. 51: Tříbodová ohybová zkouška – trámečky 40/40/160 mm.....	62
Obr. 52: Tlaková zkouška – trámečky 40/40/160 mm.....	63
Obr. 53: Tlaková zkouška – krychle 100/100/100 mm.....	63
Obr. 54: Tlakové porušení krychle .....	65
Obr. 55: Čtyřbodový ohyb – porovnání průměrných hodnot.....	66
Obr. 56: Srovnání průměrných hodnot M <sub>max</sub> s jinými zdroji (modrá barva) – tl. 18 – 25 mm [27] [21] [28] [8] .....	70
Obr. 57: Určení účinné výšky d .....	72
Obr. 58: Řez prvkem, prvek vyztuženým rovingem.....	74
Obr. 59: Detail rovingu – nespolepůsobení vláken s betonem .....	74
Obr. 60: Vzorek vyztužený tkaninou .....	74



Obr. 61: Detail vzorku s tkaninou – nespolutůsobení tkaniny s betonem .....	75
Obr. 62: Model lavičky.....	76
Obr. 63: Momentový průběh po konstrukci, napětí po konstrukci.....	77
Obr. 64: Idealizace konstrukce .....	77
Obr. 65: Maximální únosnosti lavičky při změnách polohy výztuže, třibodový ohyb .....	77
Obr. 66: Maximální únosnosti lavičky při změnách polohy výztuže, třibodový ohyb .....	78
Obr. 67: Půdorys bednění, řez bedněním .....	79
Obr. 68: Bednění .....	79
Obr. 69: Lavička .....	80
Obr. 70: Lavička detail, boční pohled .....	80
Obr. 71: Lavička - pohled z boku.....	81
Obr. 72: Detail textury, defektu.....	81



## Seznam tabulek

Tab. 1: Tříbodová ohybová zkouška, trámečků 40 x 40 x 160 mm.....	64
Tab. 2: Tlaková zkouška trámečků 40 x 40 x 160 mm.....	64
Tab. 3: Tlaková zkouška krychlí 100 x 100 x 100 mm.....	64
Tab. 4: Naměřené hodnoty.....	67
Tab. 5: Porovnání jiných zdrojů [27] [21] [28] [8].....	68
Tab. 6: Hodnoty vyztuženého vzorku s impregnovanou výztuží.....	71
Tab. 7: Průměrné hodnoty vyztuženého vzorku impregnovanou výztuží.....	71
Tab. 8: Využití prvků na mezní stav únosnosti.....	73



## Seznam příloh

- 1) Roving STS40 F13 24K, 1600 tex (str.93)
- 2) Solidian GRID Q85/85-CCE-21 (str.94)
- 3) Uhlíková tkanina KC 160g/m<sup>2</sup>, 3K, plátno, š. 100 cm (str.95)
- 4) Uhlíková tkanina KC 160g/m<sup>2</sup>, 3K, kepr, š. 100 cm (str.96)
- 5) Změřená data z experimentálního měření ve čtyřbodovém ohybu (str.97)

**Uhlíková výztuž s epoxidovou maticí solidian - 21 mm**

**Rozptýlená vlákna roving 1650 tex; 20kg/m<sup>3</sup>, 10kg/m<sup>3</sup>, 5kg/m<sup>3</sup>**

**Roving 1650 tex, osová vzdálenost 10 mm**

**Tkanina vazba plátnová 160g/m<sup>2</sup>**

**Tkanina vazba keprova 160g/m<sup>2</sup>**



## Roving STS40 F13 24K, 1600 tex



**TEIJIN**

Delivery programme and characteristics for  
Tenax® STS filament yarn

Brand name		Tenax®	Tenax®
Production site		J / E	J / E
Product designation		STS40 F13 24K 1600tex	STS40 F13 48K 3200tex CP
Sizing properties		F13	F13
Number of filaments		24.000	48.000
Nominal linear density <sup>1)</sup>	[tex]	1600	3200
Twist	[t/m]	0	0
Running length per kg	[m/kg]	625	312
Package weight, net	[kg]	2 / 4 / 6 / 8	6 / 8 / 10

1) without sizing

### Characteristics (typical values)

Filament diameter	[µm]	7.0	7.0
Density	[g/cm <sup>3</sup> ]	1.77	1.77
Tensile strength	[MPa]	4000	4000
Tensile modulus	[GPa]	240	250
Elongation at break	[%]	1.7	1.6

### Sizing properties for fiber family STS

STS is a special type suitable for modern industrial applications and it can be processed for all common fiber processing methods.

F13 = Type with approx. 1.0 % sizing based on polyurethane

CP = Center Pull (tube removable)

Please contact our sales team any time for choosing the right type. The stated numbers are typical values. For design purposes please request fiber specification.

Please note the application (aerospace or industry & sports) on your order.

The export or transfer of carbon fibers can be subject to authorization, depending on end-use and final destination.

Toho Tenax Europe GmbH  
Kasinostraße 19-21  
42103 Wuppertal, Germany

Tel.: +49 202 32 - 2339  
Fax: +49 202 32 - 2360

www.tohotenax-eu.com  
sales@tohotenax-eu.com (04/2010)



## Solidian GRID Q85/85-CCE-21

### TECHNISCHES DATENBLATT TECHNICAL DATA SHEET

solidian GRID Q85/85-CCE-21

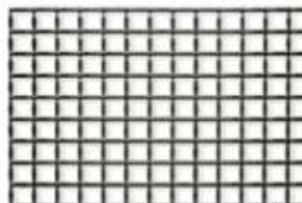


Abbildung  
Figure

#### Material / material

Fasermaterial	Carbon
Fiber material	carbon
Tränkungsmaterial	Epoxidharz
Impregnation material	epoxy resin
Form	Mattenware
Shape	panel
Abmessungen	5,0 x 1,2 (Länge = Längsrichtung x Breite = Querrichtung)
Dimensions	5.0 x 1.2 (Length = longitudinal x width = transversal)

#### Kenndaten / specifications

		Längsrichtung / longitudinal	Querrichtung / transversal
Achsabstand Strang	[mm]	21	21
Axial distance			
Faserquerschnittsfläche (Bewehrung)	[mm <sup>2</sup> /m]	85	85
Cross section area of the reinforcement			
Faserquerschnittsfläche (Strang)	[mm <sup>2</sup> ]	1,81	1,81
Cross section area of the strands			
Garnzugfestigkeit		> 4.000	> 4.000
Tensile strength of the roving			
	Mittel	3.300	3.550
	avg.		
Bruchspannung	Min.	3.000	2.900
Tensile strength	min. [N/mm <sup>2</sup> ]		
	Max. [MPa]	4.050	4.400
	max.		
Bruchspannung (Charakteristischer Wert) <sup>1)</sup>		2.500	2.500
Tensile strength (characteristic value) <sup>1)</sup>			
E-Modul		> 220000	> 205000
Young's modulus			

#### Hinweise / information

Textilbetonbauteile unterliegen zur Zeit keinen bauaufsichtlichen Zulassungen (Normen, Richtlinien usw.). Bei tragenden Bauteilen sind Baubehörden, Prüfstatiker, Gutachter usw. hinzuzuziehen und länderspezifische Regelungen zu beachten (z.B. Zustimmungen im Einzelfall).

Es wird empfohlen diese Werte im Betonbauteil (vor Ort im Fertigteilwerk) zu überprüfen, um individuelle Einflüsse aus der Betonmischung zu erfassen.

Verarbeitungstemperaturen und Beständigkeiten beachten, nur durch unterwiesenes Fachpersonal verarbeiten, geeignete Betonmischungen verwendet, mit Schutzhandschuhen und -brillen arbeiten. Bitte ggf. weitere Schutzmaßnahmen beachten!

<sup>1)</sup> Der charakteristische Wert wurde auf Basis von DIN EN 1990 aus experimentellen Untersuchungen an Rovingzugversuchen abgeleitet. Die hier angegebenen Werte stellen Werte für die statische Kurzzeitfestigkeit bei Raumtemperatur (20°C) dar; Einflüsse aus Dauerhaftigkeit, Dauerstandlasten, zyklischen Beanspruchungen, usw. sind hier nicht berücksichtigt.

Textile concrete components are currently not subject to any building authority approvals (standards, guidelines etc.). in the case of structural building sites, building authorities must be consulted with test stators, experts etc. and country-specific regulations must be observed (e.g. approvals of specific cases).

It is recommended to check these values in the concrete component (on site the prefabricated concrete plant) in order to detect individual influences from the concrete mix.

Consider working temperatures and resistance, installation only by trained staff, use suitable concrete mixtures, wear safety gloves and goggles. Please, consider additional protective measures.

<sup>2)</sup> The characteristic value was derived on the basis of DIN EN 1990 from experimental studies of roving tests. The values provided here represent short-term static tensile strength; the influences of durability, long-term loads, cyclic stresses etc. are not taken into consideration.

Änderungen vorbehalten / subject to change without notice

Version / version: 170726GN

Datum / date: 28.07.2017

solidian GmbH  
Sigmaringer Straße 150  
72458 Albstadt / Germany

Phone +49 7431 10 31 37  
Fax +49 7431 10 63 137  
info@solidian.com

[www.solidian.com](http://www.solidian.com)



## Uhlíková tkanina KC 160g/m<sup>2</sup>, 3K, plátno, š. 100 cm



### Inspection Certificate 3.1

EN 10 204: 2004

Certificate No.: C0044101

Material Code: TOR000501  
 Material Designation: **CC 160 P - 100**  
 Manufacturing Date: 5.3.2014  
 Article no.: CA0005-641-0001  
 Test roll No.: C0044101  
 Finish: loomstate

Kind of material - warp: Toray 3K 200 tex  
 Kind of material - weft: Toray 3K 200 tex  
 Compatibility: Epoxi resin  
 Binding: plain

Results of specific tests according to Specification No.:		TOR000501				
Characteristic	Unit	Target values	Tolerance (min. - max.)		Test results	Note
Sett of warp	n/m	400	395	410	* 406	DIN EN 1049-2
Sett of weft	n/m	400	395	410	* 400	DIN EN 1049-2
Thickness	mm	0,3	0,26	0,34	* 0.30	DIN EN 5084
Area weight	g/m <sup>2</sup>	160	155	170	160	DIN EN 12127
Width	cm	100	99,5	100,5	* 99.8	DIN EN 1773
Density	g/cm <sup>3</sup>	1,76				
* orientation value						
Corresponds to the batch no.: C00441						



Address of Manufacturer:

KORDÁRNA Plus a.s.  
 696 74 Velká nad Veličkou 890  
 Czech Republic

Contact of Techn. Dept.: Kučera Jiří, +420 518 312 528  
 + 420 518 329 302, kuceraj@kordarna.cz



## Uhlíková tkanina KC 160g/m<sup>2</sup>, 3K, kepr, š. 100 cm



### Inspection Certificate 3.1

EN 10 204: 2004

Certificate No.: C0084101

Material Code: TOR003601  
 Material Designation: **CC 160 T - 100**  
 Manufacturing Date: 23.10.2014  
 Article no.: CA0049-641-0001  
 Test roll No.: C0084101  
 Finish: loomstate

Kind of material - warp: Toray 3K 200 tex  
 Kind of material - weft: Toray 3K 200 tex  
 Compatibility: Epoxi resin  
 Binding: twill 2/2

Results of specific tests according to Specification No.:		TOR003601				
Characteristic	Unit	Target values	Tolerance (min. - max.)		Test results	Note
Sett of warp	n/m	400	395	410	* 400	DIN EN 1049-2
Sett of weft	n/m	400	395	410	* 410	DIN EN 1049-2
Thickness	mm	0,4	0,37	0,43	* 0,40	DIN EN 5084
Area weight	g/m <sup>2</sup>	160	155	170	162	DIN EN 12127
Width	cm	100	99,5	100,5	* 100,8	DIN EN 1773
Density TOR 3K 200 tex	g/cm <sup>3</sup>	1,76				
* orientation value						
Corresponds to the batch no.: C00841						



Address of Manufacturer:  
**KORDÁRNA Plus a.s.**  
 696 74 Velká nad Veličkou 890  
 Czech Republic

Contact of Techn. Dept.: Kučera Jíří, +420 518 312 528  
 + 420 518 329 302, kuceraj@kordarna.cz





## Čtyřbodový ohyb

### Uhlíková výztuž s epoxidovou matricí solidian - 21 mm

mm	Čtyřbodový ohyb uhlíková výztuž s epoxidovou matricí solidian - 21 mm						
	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
Dráha	1P21	2P21	3P21	4P21	5P21	6P21	Průměr
0,00	22,52	16,36	15,15	33,08	12,30	35,95	22,56
0,02	56,72	27,59	47,74	83,67	41,74	71,34	54,80
0,04	91,93	53,99	84,04	137,24	74,31	107,45	91,49
0,06	128,21	86,03	122,06	191,91	109,43	145,19	130,47
0,08	166,38	123,18	162,43	246,21	145,13	185,16	171,41
0,10	204,58	159,14	202,73	299,08	180,73	225,21	211,91
0,12	241,99	201,40	245,33	356,19	218,57	266,87	255,06
0,14	280,93	244,43	288,63	414,07	255,95	307,77	298,63
0,16	321,07	288,34	333,51	471,18	292,63	352,87	343,27
0,18	362,45	333,87	378,24	528,32	329,54	397,78	388,37
0,20	404,70	380,27	424,93	587,35	272,65	445,07	419,16
0,22	448,90	427,12	472,15	645,14	326,15	490,74	468,37
0,24	492,95	474,61	519,39	703,75	373,83	538,11	517,11
0,26	537,71	522,85	568,02	764,55	418,45	585,04	566,10
0,28	584,93	572,01	618,53	822,36	457,88	633,86	614,93
0,30	631,24	623,68	669,13	884,38	493,70	682,88	664,17
0,32	678,53	677,13	719,10	944,54	532,64	730,44	713,73
0,34	726,66	731,29	770,39	1003,68	577,26	781,44	765,12
0,36	775,73	788,17	818,84	861,24	624,33	830,79	783,18
0,38	825,12	846,81	868,28	827,87	670,93	881,51	820,09
0,40	874,22	908,55	907,73	819,89	716,61	934,64	860,27
0,42	923,44	972,40	881,38	814,65	763,90	986,14	890,32
0,44	951,04	1035,40	882,07	827,10	811,42	1022,50	921,59
0,46	867,23	1100,27	860,42	857,75	859,40	741,19	881,04
0,48	817,88	1164,03	856,58	888,60	907,16	755,10	898,23
0,50	769,00	681,38	870,38	918,23	950,95	773,11	827,18
0,52	774,75	700,59	881,33	945,61	963,00	779,45	840,79
0,54	780,07	721,47	895,31	973,93	747,74	800,67	819,87
0,56	759,91	748,21	912,00	999,53	778,36	826,00	837,34
0,58	769,29	775,70	924,62	1015,32	805,60	833,30	853,97
0,60	787,28	802,53	941,14	1008,14	835,12	863,34	872,93
0,62	807,78	831,52	952,03	990,70	861,71	894,14	889,65
0,64	827,49	863,81	959,17	1023,46	886,01	921,08	913,51
0,66	845,56	894,30	967,20	1050,31	904,12	949,58	935,18
0,68	861,78	922,04	975,19	1079,28	933,18	972,25	957,29
0,70	878,09	955,76	992,50	1101,61	961,02	994,32	980,55
0,72	892,59	986,49	1008,27	1119,17	995,48	1020,24	1003,71
0,74	913,12	1018,71	1023,88	1144,25	1021,42	1047,11	1028,08
0,76	934,33	1051,99	1038,63	1164,24	1036,64	1060,04	1047,65
0,78	951,76	1083,46	1051,28	1183,05	865,12	1085,86	1036,76
0,80	964,57	1113,34	1065,45	1212,11	876,56	1104,64	1056,11
0,82	980,77	1141,20	1081,91	1239,23	891,14	886,63	1036,81
0,84	993,79	1172,31	1041,54	1265,60	912,70	899,77	1047,62
0,86	1018,17	1202,16	1041,46	1283,90	931,28	918,10	1065,84
0,88	1027,76	1230,03	1049,28	988,67	960,15	932,65	1031,42
0,90	973,46	1255,32	1063,53	1021,54	987,90	954,51	1042,71
0,92	982,69	1284,69	1075,39	1050,14	1014,93	970,11	1062,99
0,94	1004,65	842,24	1088,28	1082,60	1041,91	994,01	1008,95
0,96	1026,61	866,36	1094,45	1115,33	1063,33	1016,52	1030,43
0,98	1046,39	900,03	1081,31	1146,33	1085,40	1020,08	1046,59
1,00	1065,09	929,39	1086,31	1172,85	845,18	1042,89	1023,62
1,02	1078,62	959,15	1101,74	1199,31	855,41	1067,57	1043,63
1,04	1089,63	987,09	1114,13	1227,14	865,36	1091,43	1062,46
1,06	1102,67	1016,64	1123,57	1252,29	886,78	1115,15	1082,85
1,08	980,04	1043,13	1134,81	1258,35	905,81	1137,07	1076,54
1,10	1004,86	1072,79	1148,13	1192,24	931,79	1158,00	1084,63
1,12	1032,27	1101,40	1156,42	1208,17	956,70	1177,37	1105,39
1,14	1048,79	1131,02	1167,72	1237,48	982,76	1193,00	1126,80
1,16	1063,09	1158,14	1182,02	1262,23	1008,89	1210,84	1147,53
1,18	1080,98	1184,53	1196,13	1283,16	1032,74	1229,95	1167,91
1,20	1095,52	1209,73	1204,23	1302,75	1057,42	898,24	1127,98
1,22	1103,19	1234,96	1218,69	1320,52	1080,24	923,80	1146,90
1,24	1111,44	929,55	1230,91	1337,79	1100,43	950,04	1110,03
1,26	1120,49	944,17	1244,03	1350,46	1120,15	974,95	1125,71
1,28	1135,09	967,74	1254,03	1367,16	1137,04	996,24	1142,88
1,30	1146,13	990,59	1267,28	1385,13	1154,46	1019,90	1160,58
1,32	1155,87	1011,78	1280,15	1403,05	1171,72	1043,56	1177,69
1,34	1165,40	1036,93	1292,24	1421,88	1186,68	1066,42	1194,92

1,36	1177,98	1058,19	1305,08	1439,98	1195,94	1090,93	1211,35
1,38	1186,35	1082,79	1319,23	1460,04	1165,00	1114,50	1221,32
1,40	1193,99	1107,28	1333,74	1477,41	1081,87	1138,58	1222,14
1,42	1205,09	1133,00	1346,67	1275,13	1040,46	1161,51	1193,64
1,44	1219,62	1157,13	1362,14	1300,05	1056,96	1185,58	1213,58
1,46	1232,09	1181,26	1377,19	1327,79	1078,05	1208,90	1234,21
1,48	1245,96	1205,03	1388,73	1354,85	1093,03	1231,76	1253,23
1,50	1258,42	923,74	1399,61	1377,69	1115,54	1253,66	1221,44
1,52	1270,96	934,52	1411,83	1405,40	1137,85	1274,82	1239,23
1,54	1284,11	958,98	1426,07	1431,80	1160,59	1293,91	1259,24
1,56	1300,76	982,34	1439,37	1453,89	1181,55	1309,92	1277,97
1,58	1314,78	1005,13	1454,65	1474,88	1201,73	1327,26	1296,40
1,60	1330,59	1024,08	1469,90	1494,94	1220,84	1343,57	1313,99
1,62	1345,79	1045,87	1485,26	1514,34	1234,55	1362,14	1331,32
1,64	1360,39	1068,97	1501,13	1533,13	1250,22	1378,23	1348,68
1,66	1375,01	1091,36	1480,99	1550,31	1263,67	1396,84	1359,70
1,68	1390,26	1113,21	1470,79	1315,69	1279,49	1414,85	1330,71
1,70	1404,97	1134,68	1494,88	1345,30	1222,82	1429,46	1338,68
1,72	1420,80	1154,21	1516,11	1373,31	1146,16	1444,67	1342,54
1,74	1435,94	1175,31	1531,80	1399,54	1076,42	1451,67	1345,11
1,76	1452,00	1194,01	1547,94	1427,53	1103,51	1450,27	1362,54
1,78	1466,84	1212,69	1564,88	1454,66	1129,07	1322,13	1358,38
1,80	1481,21	1232,13	1581,59	1479,45	1152,85	1346,41	1378,94
1,82	1495,46	1249,48	1597,03	1504,71	1176,97	1369,95	1398,93
1,84	1504,99	1267,19	1612,81	1529,39	1200,14	1394,98	1418,25
1,86	1493,00	1284,84	1628,16	1551,99	1224,97	1419,11	1433,68
1,88	1471,93	1301,48	1644,71	1573,11	1247,75	1442,03	1446,84
1,90	1409,59	1318,11	1662,03	1593,30	1268,62	1464,72	1452,73
1,92	1432,68	1335,72	1676,72	1610,65	1288,02	1482,87	1471,11
1,94	1461,53	1351,15	1690,50	1630,19	1287,48	1499,54	1486,73
1,96	1487,69	1368,80	1707,14	1647,82	1160,56	1516,71	1481,45
1,98	1509,64	1385,02	1717,56	1666,25	1183,37	1532,24	1499,01
2,00	1528,84	1402,42	1732,14	1684,33	1205,65	1538,89	1515,38
2,02	1545,69	1417,67	1748,09	1702,26	1227,13	1427,37	1511,37
2,04	1561,72	1432,98	1764,02	1718,80	1247,99	1450,08	1529,26
2,06	1577,27	1449,62	1780,74	1437,87	1270,14	1476,28	1498,65
2,08	1591,99	1466,47	1795,89	1466,18	1290,92	1501,94	1518,90
2,10	1606,76	1482,51	1811,20	1495,17	1310,37	1527,33	1538,89
2,12	1618,58	1497,95	1828,53	1523,63	1329,00	1549,62	1557,88
2,14	1631,48	1513,64	1845,67	1549,04	1347,01	1569,09	1575,99
2,16	1643,56	1530,50	1861,73	1574,92	1363,82	1585,54	1593,35
2,18	1655,04	1547,02	1877,91	1600,34	1380,94	1600,05	1610,22
2,20	1607,26	1563,09	1895,01	1623,49	1398,24	1616,57	1617,28
2,22	1615,90	1579,41	1907,03	1646,30	1413,12	1629,56	1631,89
2,24	1640,42	1594,51	1913,27	1667,59	1429,55	1644,55	1648,31
2,26	1661,25	1611,49	1867,57	1686,27	1443,60	1657,30	1664,58
2,28	1678,60	1627,22	1877,16	1704,70	1459,79	1669,84	1669,55
2,30	1694,64	1643,33	1898,50	1722,30	1475,98	1683,04	1686,30
2,32	1710,53	1659,85	1913,20	1740,05	1490,73	1695,08	1701,57
2,34	1725,82	1674,59	1929,53	1757,34	1506,80	1701,72	1715,97
2,36	1742,08	1689,41	1946,13	1775,04	1521,33	1513,76	1697,96
2,38	1758,43	1705,90	1961,94	1792,32	1536,84	1538,52	1715,66
2,40	1773,24	1720,74	1976,93	1809,77	1551,51	1563,01	1732,54
2,42	1787,58	1736,93	1993,23	1825,30	1565,42	1587,04	1749,25
2,44	1801,74	1752,87	2010,28	1842,03	1579,91	1609,76	1766,10
2,46	1816,73	1767,49	2026,69	1857,45	1593,35	1631,96</	



2,84	2111,19	1945,40	2318,93	2095,77	1861,27	1790,44	2020,50	4,32	3046,49	2597,62	3417,95	3047,07	2609,56	2706,33	2904,17
2,86	2125,65	1831,93	2333,12	2111,97	1870,82	1803,94	2012,91	4,34	3061,32	2610,81	3433,68	3061,84	2620,53	2718,77	2917,83
2,88	2142,16	1858,08	2348,10	2127,09	1884,60	1819,77	2029,97	4,36	3077,97	2623,29	3449,53	3077,28	2632,84	2732,27	2932,20
2,90	2155,65	1883,76	2363,61	2143,65	1898,84	1834,07	2046,60	4,38	3091,38	2634,48	3465,01	3090,94	2645,17	2745,85	2945,47
2,92	2170,16	1905,84	2379,97	2158,92	1911,30	1848,87	2062,51	4,40	3107,25	2647,47	3480,36	3105,74	2659,48	2758,15	2959,74
2,94	2183,88	1924,53	2394,85	2173,51	1743,49	1754,36	2099,11	4,42	3122,47	2660,07	3496,99	3120,46	2672,61	2771,60	2974,03
2,96	2192,99	1649,90	2410,45	2188,94	1767,95	1770,81	2099,84	4,44	3137,21	2671,38	3511,28	3134,32	2684,80	2785,51	2987,22
2,98	2208,87	1675,92	2425,98	2203,38	1793,00	1790,37	2016,25	4,46	3152,40	2684,98	3527,90	3148,33	2697,95	2798,62	3001,70
3,00	2225,45	1702,28	2438,61	2218,04	1816,15	1809,77	2035,05	4,48	3166,99	2697,58	3543,10	3162,57	2710,45	2811,82	3015,42
3,02	2240,09	1726,94	2452,82	2232,45	1836,04	1829,90	2053,04	4,50	3182,29	2709,99	3560,42	3176,63	2722,93	2825,47	3029,62
3,04	2254,60	1750,32	2466,59	2246,40	1856,29	1848,32	2070,42	4,52	3196,72	2723,22	3575,41	3191,34	2734,95	2838,57	3043,37
3,06	2271,35	1774,13	2483,37	2260,92	1873,59	1866,81	2088,36	4,54	3213,25	2734,33	3590,93	3205,68	2748,87	2852,28	3057,56
3,08	2286,54	1796,56	2498,99	2276,22	1890,37	1882,68	2105,23	4,56	3226,59	2746,91	3606,71	3219,04	2739,44	2865,48	3067,36
3,10	2300,46	1819,61	2515,89	2291,45	1905,58	1895,22	2121,37	4,58	3241,84	2760,21	3623,29	3233,57	2744,05	2878,07	3080,17
3,12	2315,64	1839,80	2530,93	2305,37	1922,25	1910,57	2137,43	4,60	3255,69	2771,90	3636,78	3248,06	2751,84	2891,25	3092,59
3,14	2330,89	1860,25	2547,15	2319,95	1938,45	1921,48	2153,03	4,62	3270,99	2783,60	3652,28	3261,90	2763,47	2905,28	3106,25
3,16	2345,35	1879,20	2561,14	2333,77	1949,96	1935,07	2167,42	4,64	3286,16	2795,21	3668,92	3275,95	2774,59	2917,75	3119,76
3,18	2358,09	1897,23	2575,17	2347,75	1964,06	1949,56	2181,98	4,66	3297,99	2807,24	3683,96	3289,70	2787,24	2930,94	3132,85
3,20	2345,45	1915,30	2591,32	2360,83	1978,46	1964,01	2192,56	4,68	3311,13	2819,89	3700,10	3303,70	2799,74	2944,26	3146,47
3,22	2364,27	1932,68	2604,89	2375,94	1993,18	1976,59	2207,92	4,70	3325,03	2832,51	3716,23	3317,44	2802,75	2958,08	3158,67
3,24	2381,62	1948,77	2620,63	2389,21	2008,07	1991,71	2223,34	4,72	3340,26	2844,50	3732,57	3332,09	2810,63	2970,98	3171,84
3,26	2395,99	1962,05	2636,64	2403,12	2021,74	2003,70	2237,21	4,74	3354,22	2856,49	3748,18	3345,14	2823,57	2984,07	3185,28
3,28	2409,40	1978,17	2652,38	2416,27	2036,03	2018,23	2251,75	4,76	3369,50	2869,57	3764,30	3359,16	2837,42	2997,17	3199,52
3,30	2424,49	1992,93	2668,03	2429,65	2049,18	2032,02	2266,05	4,78	3384,75	2881,39	3778,96	3372,24	2850,12	3011,58	3213,17
3,32	2433,27	2007,43	2684,52	2444,47	2063,19	2045,28	2279,69	4,80	3399,66	2894,40	3792,77	3385,43	2864,80	3024,71	3226,96
3,34	2341,11	2021,81	2699,83	2457,96	2076,87	2059,10	2276,12	4,82	3413,85	2905,00	3807,97	3399,96	2877,15	3035,31	3239,87
3,36	2358,30	2035,81	2716,23	2472,44	2087,09	2073,01	2255,31	4,84	3428,40	2767,62	3823,68	3413,10	2890,25	3048,50	3228,59
3,38	2384,53	2049,01	2732,20	2486,43	2097,52	2086,27	2272,66	4,87	3443,72	2783,83	3840,43	3427,05	2903,49	3061,63	3243,36
3,40	2409,53	2062,42	2747,03	2499,06	2122,94	2100,78	2290,29	4,89	3458,90	2806,24	3855,01	3440,19	2916,55	2926,99	3233,98
3,42	2432,17	2075,63	2763,55	2511,33	2146,75	2114,01	2307,24	4,91	3472,92	2830,16	3869,75	3454,79	2928,37	2951,43	3251,24
3,44	2448,38	2089,44	2779,48	2525,75	2168,80	2127,13	2323,16	4,93	3487,34	2851,47	3882,11	3468,15	2939,87	2973,53	3267,08
3,46	2449,48	2102,26	2795,86	2537,51	2191,07	2141,70	2336,31	4,95	3502,61	2872,49	3896,23	3481,72	2953,13	2993,09	3282,21
3,48	2465,84	2114,48	2811,25	2470,14	2009,18	2154,33	2327,04	4,97	3517,73	2891,70	3912,78	3496,36	2963,75	3012,48	3299,13
3,50	2483,48	2126,87	2826,51	2422,19	2029,93	2168,11	2342,85	4,99	3531,62	2907,92	3929,31	3509,54	2975,04	3034,67	3314,68
3,52	2499,41	2138,09	2830,83	2446,25	2047,98	2181,45	2357,33	5,01	3545,44	2922,99	3943,53	3523,52	2987,46	3051,97	3329,15
3,54	2515,08	2151,55	2841,82	2469,43	2065,42	2195,04	2373,06	5,03	3560,20	2937,40	3959,51	3537,44	2997,77	3069,30	3343,60
3,56	2530,39	2149,41	2854,39	2484,04	2082,04	2208,25	2384,75	5,05	3574,72	2951,01	3975,11	3549,90	3007,70	3086,70	3357,52
3,58	2545,82	2163,50	2848,41	2497,45	2097,94	2222,59	2395,95	5,07	3589,14	2964,46	3991,24	3564,42	3020,67	3103,30	3372,20
3,60	2561,34	2177,25	2853,04	2514,94	2112,54	2235,39	2409,08	5,09	3602,58	2977,62	4007,02	3578,43	3032,54	3118,71	3386,15
3,62	2577,29	2191,50	2868,92	2533,02	2127,74	2249,07	2424,59	5,11	3618,25	2989,11	4022,91	3592,01	3045,58	3135,21	3400,51
3,64	2591,88	2205,43	2881,49	2549,61	2140,94	2262,39	2438,62	5,13	3632,28	3002,54	4038,91	3605,84	3057,21	3149,87	3414,44
3,66	2607,29	2219,41	2896,03	2566,58	2156,14	2275,68	2453,52	5,15	3646,80	3014,40	4055,00	3618,49	3069,09	3164,96	3428,12
3,68	2621,79	2232,10	2907,85	2581,14	2170,76	2289,38	2467,17	5,17	3661,31	3026,90	4070,16	3632,67	3080,22	3180,94	3442,04
3,70	2636,06	2245,87	2924,43	2597,92	2185,20	2303,07	2482,09	5,19	3676,91	3038,42	4084,85	3644,86	3090,74	3194,79	3455,10
3,72	2650,89	2258,69	2939,68	2612,79	2197,79	2315,96	2489,97	5,21	3690,79	3049,68	4098,06	3659,26	3103,12	3209,52	3468,41
3,74	2666,33	2271,27	2954,93	2627,35	2210,54	2331,05	2510,25	5,23	3705,74	3061,94	4112,56	3672,84	3114,94	3223,92	3481,99
3,76	2681,32	2284,51	2969,52	2642,92	2224,95	2343,53	2524,46	5,25	3718,79	3074,69	4129,77	3686,22	3126,77	3238,02	3495,71
3,78	2695,76	2297,47	2985,53	2657,04	2240,00	2356,25	2538,68	5,27	3733,19	3087,18	4145,20	3700,06	3140,63	3251,74	3509,67
3,80	2710,82	2309,77	3000,81	2672,37	2255,24	2370,27	2553,21	5,29	3748,12	3099,32	4161,68	3714,44	3151,74	3265,07	3523,39
3,82	2725,32	2322,37	3015,83	2687,31	2268,47	2383,65	2567,16	5,31	3762,19	3111,65	4177,01	3728,71	3162,89	3277,50	3536,66
3,84	2740,64	2334,06	3028,55	2702,52	2283,11	2398,33	2581,20	5,33	3776,69	3122,81	4194,23	3742,29	3174,60	3292,22	3550,47
3,86	2754,44	2347,32	3045,00	2717,54	2297,02	2412,07	2595,56	5,35	3791,29	3135,47	4209,74	3756,30	3185,74	3306,27	3564,14
3,88	2769,47	2359,48	3060,49	2731,69	2310,90	2425,17	2609,53	5,37	3805,38	3146,76	4226,20	3764,62	3197,40	3318,48	3576,47
3,90	2784,95	2370,53	3076,55	2745,62	2324,86	2438,17	2623,45	5,39	3819,98	3159,60	4242,35	3776,96	3207,32	3330,80	3589,50
3,92	2799,12	2382,77	3095,53	2761,50	2338,64	2452,94	2638,42	5,41	3834,48	3172,48	4258,88	3792,04	3218,42	3344,23	3603,42
3,94	2813,37	2395,86	3112,23	2775,12	2352,58	2465,67	2652,47	5,43	3849,11	3184,06	4274,16	3804,86	3230,25	3358,50	3616,82
3,96	2827,04	2408,38	3127,90	2790,28	2367,61	2479,53	2666,79	5,45	3863,21	3195,63	4288,79	3818,67	3240,66	3371,30	3629,71
3,98	2841,80	2398,03	3146,01	2803,44	2379,54	2493,14	2676,99	5,47	3876,84	3208,36	4303,15	3833,56	3252,26	3385,87	3643,24
4,00	2855,03	2380,60	3160,99	2818,78	2393,68	2506,77	2685,98	5,49	3890,94	3220,51	4318,25	3847,09	3264,77	3397,65	3656,53
4,02	2869,91	2399,76	3177,60	2833,07	2407,48	2520,86	2701,45	5,51	3904,54	3232,91	4333,91	3860,97	3276,44	3410,73	3669,92
4,04	2885,00	2417,87	3193,42	2846,90	2420,05	2533,64	2716,15	5,53	3917,65	3244,01	4349,90	3874,15	3288,26	3424,20	3683,03
4,06	2898,89	2431,89	3210,01	2861,79	2434,82	2547,28	2730,78	5,55	3929,79	3256,80	4366,43	3886,94	3300,48	3438,06	3694,92
4,08	2912,37	2445,77	3226,40	2875,87	2447,13	2542,62	2741,69	5,57	3929,14	3268,14	4382,87	3899,83	3305,54	3451,06	3706,10
4,10	2926,80	2459,20	3242,29	2889,10	2460,87	2555,90	2755,69	5,59	3977,96	3281,74	4398,58	3912,24			



5,81	4067,05	3415,07	4567,98	4053,70	3438,13	3595,84	3856,29	7,29	5139,05	4159,84	5676,96	4987,74	4290,84	4500,27	4792,45
5,83	4080,62	3426,18	4583,03	4066,58	3450,24	3607,58	3869,04	7,31	5152,73	4168,21	5691,84	5000,94	4302,85	4512,27	4804,81
5,85	4095,39	3437,29	4598,91	4079,76	3461,78	3619,37	3882,08	7,33	5167,09	4177,91	5705,91	5014,59	4314,45	4525,03	4817,50
5,87	4111,12	3448,41	4610,92	4092,56	3472,85	3631,20	3894,51	7,35	5180,57	4189,48	5718,41	5027,82	4324,96	4537,05	4829,71
5,89	4126,24	3460,90	4625,50	4104,64	3485,30	3641,98	3907,42	7,37	5195,06	4198,71	5730,93	5041,68	4336,10	4548,98	4841,91
5,91	4140,78	3472,64	4641,42	4118,02	3496,34	3654,40	3920,60	7,39	5208,95	4205,57	5738,53	5055,16	4347,44	4561,13	4852,80
5,93	4155,80	3484,45	4657,43	4127,69	3507,05	3666,99	3933,23	7,41	5222,36	4217,36	5750,82	5067,94	4358,08	4572,99	4864,92
5,95	4169,89	3496,26	4672,65	4061,69	3519,45	3678,27	3933,03	7,43	5236,90	4227,77	5764,37	5081,76	4369,42	4585,52	4877,62
5,97	4183,25	3507,39	4688,51	4084,72	3530,55	3690,90	3947,55	7,45	5251,10	4237,51	5778,16	5095,28	4380,58	4596,52	4889,86
5,99	4199,46	3518,56	4703,43	4106,31	3542,00	3702,78	3962,09	7,47	5264,91	4247,91	5782,13	5108,34	4392,44	4608,38	4900,69
6,01	4213,77	3530,20	4719,77	4127,90	3553,81	3714,54	3976,66	7,49	5277,99	4256,91	5792,82	5121,54	4403,82	4621,56	4912,44
6,03	4229,45	3542,66	4735,34	4148,44	3564,98	3727,19	3991,34	7,51	5292,76	4268,00	5805,96	5136,60	4414,51	4632,97	4925,13
6,05	4242,81	3553,20	4749,23	4166,83	3576,58	3739,85	4004,75	7,53	5306,13	4278,42	5819,53	5150,40	4425,62	4645,14	4937,54
6,07	4258,11	3565,10	4765,13	4184,60	3587,79	3751,61	4018,72	7,55	5320,48	4290,12	5833,74	5163,36	4437,37	4657,28	4950,39
6,09	4272,60	3577,39	4779,73	4201,07	3597,51	3765,13	4032,24	7,57	5334,39	4299,82	5848,14	5178,05	4448,64	4669,83	4963,15
6,11	4287,72	3588,63	4794,02	4217,12	3609,01	3775,97	4045,41	7,59	5347,78	4311,00	5862,85	5190,41	4459,64	4682,44	4975,69
6,13	4302,33	3596,91	4807,83	4231,73	3620,74	3787,62	4057,86	7,61	5360,85	4324,11	5876,62	5202,98	4471,44	4694,32	4988,39
6,15	4317,59	3607,39	4823,33	4245,08	3630,83	3798,35	4070,43	7,63	5374,66	4334,63	5890,19	5217,16	4482,49	4707,28	5001,07
6,17	4332,60	3618,82	4838,00	4258,73	3642,30	3810,18	4082,71	7,65	5387,89	4345,06	5904,06	5230,13	4493,64	4719,31	5013,35
6,19	4346,85	3638,55	4852,85	4270,62	3654,51	3822,72	4096,02	7,67	5401,81	4356,10	5919,34	5243,29	4504,07	4731,24	5025,98
6,21	4359,99	3640,84	4866,57	4283,67	3666,44	3834,01	4070,25	7,69	5413,79	4367,06	5933,86	5256,37	4515,18	4743,75	5038,33
6,23	4375,30	3645,21	4880,30	4296,88	3678,68	3846,98	4085,56	7,71	5426,97	4378,20	5937,72	5269,39	4526,22	4755,35	5048,98
6,25	4389,10	3656,33	4892,58	4309,46	3689,77	3859,47	4099,45	7,73	5440,74	4389,36	5948,82	5283,28	4537,33	4767,65	5061,20
6,27	4404,45	3678,36	4907,71	4324,01	3700,58	3872,68	4114,63	7,75	5454,38	4400,57	5963,45	5295,26	4547,64	4778,69	5073,33
6,29	4420,33	3698,88	4922,88	4337,64	3712,14	3884,07	4129,33	7,77	5467,67	4412,20	5978,33	5309,86	4558,86	4791,18	5086,35
6,31	4434,91	3519,71	4939,46	4349,05	3723,95	3896,35	4143,90	7,79	5482,28	4423,97	5994,00	5322,37	4569,67	4803,26	5099,26
6,33	4450,09	3537,68	4954,23	4361,54	3735,99	3908,97	4158,08	7,81	5496,05	4434,33	6008,44	5334,84	4580,54	4815,48	5111,61
6,35	4464,63	3556,51	4970,71	4374,72	3747,33	3922,63	4172,75	7,83	5510,03	4446,86	6022,96	5349,39	4590,36	4828,40	5124,67
6,37	4478,52	3573,54	4986,05	4388,56	3760,03	3933,77	4186,75	7,85	5523,19	4457,63	6037,27	5363,17	4601,47	4839,56	5137,05
6,39	4493,07	3591,11	5000,24	4401,67	3771,74	3944,87	4200,45	7,87	5538,43	4470,91	6053,03	5376,34	4612,96	4850,80	5150,41
6,41	4507,66	3606,81	5014,84	4414,14	3783,22	3958,17	4214,14	7,89	5551,59	4481,44	6069,00	5389,62	4623,34	4861,74	5162,79
6,43	4522,26	3624,32	5029,63	4426,12	3795,49	3971,14	4228,16	7,91	5566,28	4493,11	6083,79	5402,74	4633,74	4873,79	5175,57
6,45	4538,79	3639,41	5044,59	4440,39	3806,18	3983,58	4242,16	7,93	5580,04	4504,35	6099,44	5415,93	4645,59	4885,39	5188,46
6,47	4551,42	3654,39	5060,74	4453,02	3818,31	3995,43	4255,55	7,95	5593,98	4516,20	6114,53	5429,71	4655,74	4896,58	5201,12
6,49	4566,68	3668,98	5075,96	4465,64	3829,79	4007,43	4269,08	7,97	5607,16	4527,58	6130,65	5442,26	4665,90	4907,97	5213,59
6,51	4581,77	3683,44	5091,65	4479,56	3841,74	4020,91	4283,18	7,99	5622,42	4538,38	6146,56	5456,84	4675,10	4919,55	5225,96
6,53	4596,29	3696,86	5106,39	4493,93	3853,39	4033,43	4296,72	8,01	5634,91	4549,74	6162,55	5468,56	4683,30	4931,57	5238,44
6,55	4610,20	3710,38	5122,32	4506,44	3865,51	4045,32	4310,03	8,03	5649,99	4561,01	6177,03	5481,82	4692,82	4942,91	5250,93
6,57	4625,13	3723,00	5137,73	4520,14	3877,39	4057,79	4323,53	8,05	5663,89	4571,61	6191,42	5495,70	4703,15	4954,31	5263,35
6,59	4639,69	3735,91	5152,99	4532,75	3888,59	4071,02	4336,82	8,07	5677,38	4583,46	6207,20	5508,79	4714,24	4965,98	5276,18
6,61	4654,66	3748,65	5168,14	4546,44	3900,30	4082,82	4350,17	8,09	5691,74	4594,09	6222,03	5522,08	4725,39	4977,92	5288,88
6,63	4670,54	3761,40	5184,59	4559,91	3912,23	4096,07	4364,12	8,11	5704,29	4606,26	6236,48	5535,91	4734,88	4989,59	5301,24
6,65	4684,29	3774,35	5197,19	4573,90	3922,68	4107,07	4376,58	8,13	5718,17	4617,60	6251,50	5549,13	4746,38	5000,07	5313,81
6,67	4699,31	3786,39	5212,03	4587,64	3935,01	4120,99	4390,23	8,15	5732,88	4629,73	6266,17	5563,54	4757,32	5011,75	5326,90
6,69	4712,89	3799,61	5227,17	4600,70	3944,24	4132,12	4402,79	8,17	5745,88	4640,01	6279,53	5576,05	4766,42	5020,19	5338,01
6,71	4726,66	3811,41	5242,96	4613,81	3955,98	4145,17	4416,00	8,19	5759,88	4651,81	6294,50	5589,50	4776,24	5030,57	5350,42
6,73	4739,88	3823,96	5259,70	4626,96	3966,38	4157,67	4428,93	8,21	5774,18	4662,78	6310,95	5603,07	4787,22	5038,17	5362,73
6,75	4754,56	3836,41	5275,03	4638,64	3978,17	4170,26	4442,18	8,23	5788,17	4674,56	6320,95	5615,69	4797,66	5041,67	5373,12
6,77	4769,26	3849,51	5290,88	4651,60	3988,54	4182,01	4455,30	8,25	5800,67	4686,34	6336,84	5630,04	4807,44	5042,37	5383,95
6,79	4782,33	3861,70	5306,86	4665,33	4001,63	4194,01	4468,64	8,27	5813,81	4697,51	6352,91	5643,99	4818,48	5049,97	5396,11
6,81	4796,47	3874,33	5322,80	4678,05	4012,84	4207,05	4481,93	8,29	5828,33	4709,31	6368,15	5656,64	4828,94	5057,64	5408,17
6,83	4810,31	3885,10	5336,71	4691,24	4025,22	4219,58	4494,70	8,31	5841,12	4720,71	6384,10	5670,30	4839,91	5067,96	5420,68
6,85	4825,35	3898,19	5353,38	4703,70	4035,76	4233,79	4508,36	8,33	5854,74	4732,11	6400,58	5684,74	4849,04	5077,01	5433,04
6,87	4838,69	3911,34	5369,23	4718,24	4047,42	4244,59	4521,59	8,35	5868,19	4744,31	6414,58	5698,27	4858,70	5086,00	5445,01
6,89	4853,15	3923,22	5384,58	4729,85	4058,58	4257,57	4534,49	8,37	5878,79	4756,39	6431,23	5711,93	4846,80	5095,17	5453,39
6,91	4867,79	3936,11	5400,50	4742,80	4071,04	4270,00	4548,04	8,39	5889,91	4766,81	6443,73	5724,63	4855,20	5104,83	5464,18
6,93	4881,45	3948,82	5415,11	4755,98	4083,54	4281,92	4561,14	8,41	5901,93	4778,23	6459,68	5738,44	4864,94	5113,84	5476,18
6,95	4896,10	3961,46	5428,90	4768,27	4095,23	4294,45	4574,07	8,43	5915,33	4789,70	6472,82	5750,93	4875,31	5123,59	5487,95
6,97	4911,04	3972,83	5445,51	4781,93	4106,45	4306,17	4587,32	8,45	5928,01	4801,80	6481,84	5765,32	4886,40	5132,87	5499,37
6,99	4924,94	3985,06	5460,23	4795,43	4116,78	4319,23	4600,28	8,47	5941,49	4813,04	6497,83	5779,41	4896,86	5143,09	5511,96
7,01	4939,57	3997,39	5475,93	4808,89	4128,69	4331,02	4613,58	8,49	5955,76	4824,03	6513,73	5793,07	4906,50	5153,08	5524,36
7,03	4953,70	4008,91	5489,83	4822,15	4141,07	4342,32	4626,33	8,51	5968,97	4835,84	6527,71	5806,64	4917,64	5161,06	5536,31
7,05	4968,31	4020,40	5501,92	4835,65	4152,25	4354,63	4638,86	8,53	5982,77	4846,99	6542,13	5820,54	4927,37	5170,01	5548,30
7,07	4982,14	4032,41	5517,00	4847,45	4164,00	4366,37	4651,56	8,55	5996,68	4858,21	6546,51	5833,91	4939,11	5179,38	5558,97
7,09	4997,39	4044,91													



8,77	6143,30	4983,32	6383,53	5982,64	4943,36	5296,37	5622,09	10,25	7114,53	5581,30	2490,90	703,40	5316,38	3534,42
8,79	6156,46	4993,70	6384,37	5995,53	4953,77	5306,78	5631,77	10,27	7128,68	5594,71	2505,14	711,94	5328,94	3544,90
8,81	6170,38	5002,86	6392,98	6008,99	4965,58	5318,55	5643,22	10,29	7141,59	5606,99	2518,33	722,15	5341,16	3555,04
8,83	6183,85	5013,41	1125,44	6021,94	4974,74	5329,41	4774,80	10,31	7155,75	5615,22	2531,71	732,24	5353,82	3564,79
8,85	6196,70	5023,11	1156,68	6035,29	4980,39	5339,64	4788,63	10,33	7169,34	5624,75	2544,34	739,44	5365,11	3573,83
8,87	6210,66	5034,79	1185,85	6048,58	4976,00	5351,90	4801,30	10,35	7182,16	5632,81	2557,74	739,54	5378,83	3581,85
8,89	6223,33	5044,95	1211,20	6062,39	4981,17	5361,92	4814,16	10,37	7196,73	1019,15	2571,27	745,19	5392,97	3582,89
8,91	6236,99	5051,98	1236,43	6075,17	4990,05	5374,07	4827,45	10,39	7209,21	1045,25	2584,93	703,47	5404,46	3582,55
8,93	6250,45	5059,02	1259,83	6088,73	4999,24	5385,27	4840,42	10,41	7223,69	1066,49	2597,81	689,69	5416,01	3582,28
8,95	6264,72	5069,22	1282,95	6101,74	5009,97	5396,69	4854,21	10,43	7237,19	1085,65	2609,48	661,31	5426,70	3582,72
8,97	6277,94	5075,74	1305,22	6114,84	5018,91	5408,50	4866,86	10,45	7250,92	1102,46	2621,78	674,73	5436,83	3582,79
8,99	6291,78	5082,63	1327,68	6127,44	5028,22	5419,93	4879,61	10,47	7263,34	1119,91	2634,30	688,48	5446,82	3582,59,14
9,01	6301,40	5092,35	1351,27	6141,84	5032,17	5431,67	4891,79	10,49	7276,86	1136,26	2644,68	700,64	5460,71	3582,86
9,03	6302,89	5101,50	1373,47	6153,99	5002,80	5441,71	4896,06	10,51	7289,79	1151,73	2653,91	708,24	5471,39	3582,18
9,05	6316,10	5112,47	1394,99	6167,21	4980,48	5453,54	4904,13	10,53	7303,43	1168,07	2664,46	718,34	5482,97	3582,45
9,07	6328,89	5122,88	1416,05	6181,44	4970,07	5464,27	4913,93	10,55	7314,71	1180,96	2673,35	728,34	5492,67	3582,01
9,09	6341,01	5133,30	1437,80	6193,29	3056,56	5475,37	4606,22	10,57	7328,13	1195,41	2682,15	735,20	5503,77	3582,93
9,11	6352,31	5142,33	1459,13	6205,38	174,25	5486,47	4136,65	10,59	7341,30	1209,90	2691,63	739,23	5514,41	3582,29
9,13	6364,64	5152,73	1479,36	6217,80	194,25	5498,05	4151,14	10,61	7354,75	1222,51	2700,41	745,16	5524,95	3582,56
9,15	6377,79	5163,17	1500,51	6230,64	209,84	5510,07	4165,43	10,63	7367,39	1234,91	2709,19	714,18	5533,57	3582,85
9,17	6391,69	5173,50	1522,19	6240,68	224,34	5520,77	4178,86	10,65	7380,59	1247,28	2714,23	726,72	5542,57	3582,28
9,19	6404,34	5180,41	1542,17	6252,69	237,14	5532,73	4191,58	10,67	7393,38	1257,81	2718,51	738,29	5552,20	3582,04
9,21	6417,33	5190,06	1563,29	6266,11	248,91	5543,39	4204,85	10,69	7406,50	1269,49	2724,13	747,76	5559,19	3582,41
9,23	6430,50	5199,13	1584,44	6279,00	260,04	5554,52	4217,94	10,71	7419,75	1279,29	2732,94	750,98	5552,97	3582,19
9,25	6443,55	5208,94	1604,62	6291,80	270,67	5564,07	4230,61	10,73	7433,56	1288,80	2741,82	739,36	5499,91	3582,69
9,27	6456,16	5219,21	1625,39	6302,52	280,06	5574,64	4243,00	10,75	7445,54	1296,61	2750,03	703,50	5493,37	3582,81
9,29	6469,49	5229,85	1645,59	6313,16	290,43	5585,01	4255,59	10,77	7457,49	1306,30	2759,11	707,83	5496,87	3582,52
9,31	6483,20	5241,26	1665,63	6324,73	300,14	5593,64	4268,10	10,79	7468,02	1315,97	2769,14	708,20	5496,17	3582,50
9,33	6496,48	5250,90	1685,77	6338,93	307,51	5604,67	4280,71	10,81	7478,16	1324,31	2776,83	711,20	5502,92	3582,58
9,35	6509,79	5261,56	1705,75	6350,18	316,86	5614,39	4293,09	10,83	7494,77	1333,36	2777,83	663,24	5512,22	3582,28
9,37	6524,24	5270,64	1725,26	6360,70	325,75	5624,78	4305,23	10,85	7506,43	1343,65	2785,43	668,04	5507,30	3582,17
9,39	6538,19	5282,30	1745,27	6373,20	332,78	5634,83	4317,76	10,87	7518,37	1352,01	2794,51	676,68	5499,87	3582,29
9,41	6549,89	5281,63	1765,67	6385,08	340,06	5645,18	4327,92	10,89	7529,49	1359,61	2803,46	684,96	5482,75	3582,05
9,43	6561,67	5282,80	1784,51	6396,83	348,35	5654,92	4338,18	10,91	7541,08	1368,61	2814,68	693,42	5487,33	3582,03
9,45	6574,19	5287,23	1804,05	6407,40	357,81	5663,07	4348,96	10,93	7552,75	1375,82	2816,33	701,03	5492,67	3582,72
9,47	6587,37	5295,68	1822,68	5574,54	365,41	5674,19	4219,98	10,95	647,80	1384,61	2821,13	706,22	5484,92	3582,93
9,49	6599,09	5304,05	1841,94	5565,51	372,69	5682,84	4227,69	10,97		1391,79	2830,87	712,70	5468,69	3582,81
9,51	6613,64	5312,63	1855,57	5565,56	379,14	5688,62	4235,86	10,99		1399,59	2842,77	718,24	5478,63	3582,84
9,53	6626,12	5322,92	1875,11	5574,53	386,22	5695,67	4246,76	11,01		1407,63	2853,83	725,54	5488,57	3582,12
9,55	6639,27	5331,58	1893,77	5580,15	391,39	5705,84	4257,00	11,03		1401,91	2866,65	731,04	5496,66	3582,25
9,57	6652,51	5342,22	1912,85	5590,54	400,58	5715,24	4268,99	11,05		1404,82	2880,19	736,24	5505,00	3582,25
9,59	6665,60	5353,10	1931,74	5600,97	409,16	5716,37	4279,49	11,07		1412,31	2891,83	744,12	5511,66	3582,98
9,61	6678,16	5362,61	1950,15	5601,62	418,79	5722,10	4288,90	11,09		1420,05	2906,29	749,84	5515,57	3582,35
9,63	6692,02	5371,82	1969,09	5609,15	428,12	5730,89	4300,18	11,11		1426,97	2917,63	757,19	5455,46	3582,45
9,65	6704,45	5381,52	1988,07	5615,50	437,85	5740,56	4311,33	11,13		1432,94	2929,46	764,76	5450,08	3582,45
9,67	6718,97	5392,41	2007,44	5626,67	447,31	5749,60	4323,73	11,15		1440,71	2941,46	769,84	5440,77	3582,56
9,69	6732,09	5401,93	2025,68	5631,24	457,81	5760,36	4334,85	11,17		1447,61	2955,76	776,30	4872,80	3582,49
9,71	6745,41	5412,72	2043,94	5637,64	466,06	5768,99	4345,79	11,19		1449,90	2969,27	782,13	4888,86	3582,03
9,73	6758,29	5422,81	2061,70	5646,87	475,84	5776,77	4357,05	11,21		1455,81	2981,93	787,94	4903,17	3582,77
9,75	6771,70	5432,61	2080,10	5659,65	484,96	5786,47	4369,25	11,23		1460,33	2995,15	788,14	4919,89	3582,70
9,77	6786,31	5443,32	2097,67	5669,76	494,71	5796,61	4381,40	11,25		1465,61	3007,97	793,44	4936,29	3582,66
9,79	6799,51	5452,61	2116,23	5679,84	503,84	5805,90	4392,99	11,27		1467,94	3021,67	799,28	4952,56	3582,29
9,81	6813,47	5462,87	2133,93	5690,32	513,34	5814,25	4386,36	11,29		1473,21	3033,67	805,60	4967,41	3582,94
9,83	6827,23	5472,01	2150,92	0,00	508,98	5825,88	3464,17	11,31		1479,06	3046,33	812,14	4980,75	3582,66
9,85	6840,64	5482,10	2168,44		520,98	5835,55	3474,62	11,33		1483,61	3057,77	817,04	4994,48	3582,58
9,87	6855,79	5490,71	2186,44		532,12	5845,27	3485,06	11,35		1349,21	3069,78	824,81	5005,62	3582,88
9,89	6870,30	5499,71	2203,12		542,55	5854,42	3495,02	11,37		1363,21	3081,34	827,63	5013,18	3582,07
9,91	6883,00	5509,06	2220,85		552,34	5865,41	3505,11	11,39		1378,19	3089,40	825,21	5018,56	3582,27
9,93	6896,48	5516,76	2238,39		563,95	5875,80	3515,23	11,41		1390,73	3099,30	830,57	5022,21	3582,56
9,95	6910,55	5525,07	2253,79		573,70	5888,22	3525,22	11,43		1402,84	3110,64	836,18	5029,84	3582,90
9,97	6924,57	5532,72	2272,36		582,14	5897,32	3534,85	11,45		1415,71	3123,74	841,94	5036,88	3582,65
9,99	6937,60	5541,04	2291,08		591,68	5908,37	3544,96	11,47		1426,43	3136,28	847,86	5021,56	3582,43
10,01	6950,28	5550,70	2305,69		600,84	5919,54	3554,51	11,49		1438,92	3146,75	853,04	4975,18	3582,78
10,03	6964,19	5560,39	2323,03		609,14	5928,76	3564,25	11,51		1448,65	3158,47	858,35	4968,98	3582,89
10,05	6978,09	5567,73	2341,01		619,53	5939,15	3574,25	11,53		1459,41	3166,89	862,04	4966,87	3582,04
10,07	6991,51	5575,91	2356,31		629,21	5951,27	3584,03	11,55		1469,50	3170,27	867,39	4965,46	3582,52
10,09	7005,78	5562,07	2369,55		638,95	5798,78	3562,52	11,57		1478,45	3174,44	870,96	4966,87	3582,14
10,11	7018,79	5540,31	2386,89		647,22	5249,04	3473,71	11,59		1487,11	3183,53	872,33	4971,64	3582,92
10,13	7033,05	5497,45	2402,15		656,25	5255,67	3474,10	11,61		1494,71	3195,18	875,78	4975,17	3582,17
10,15	7046,27	5508,49	2418,67		664,54	5262,89	3483,48	11,63		1503,01	3204,89	881,36	4977,97	3582,45
10,17	7059,40	5522,37	2434,75		670,17	5272,51	3493,20	11,65		1506,90	3214,03	878,64	4975,78	3582,07
10,19	7073,18													



11,73	1515,67	3260,45	890,48	4860,01	2631,65	13,21	1604,21	3656,74	513,41	4315,67	2522,51
11,75	1521,46	3274,23	888,97	4819,86	2626,13	13,23	1597,49	3658,68	524,48	4321,93	2525,64
11,77	1526,35	3286,03	894,56	4816,94	2630,97	13,25	1586,52	3257,63	534,32	4330,73	2427,30
11,79	1531,41	3295,80	897,43	4819,97	2636,15	13,27	1586,21	3272,84	543,37	4338,53	2435,24
11,81	1534,00	3306,07	902,94	4826,99	2642,50	13,29	1587,30	3292,18	553,73	4102,19	2383,85
11,83	1538,86	3315,90	907,27	4836,10	2649,53	13,31	1590,04	3309,64	561,35	4111,43	2393,12
11,85	1543,00	3327,63	910,48	4843,57	2656,17	13,33	1593,40	3327,63	571,74	4121,15	2403,48
11,87	1545,52	3339,84	914,10	4852,04	2662,88	13,35	1597,04	3343,66	581,45	4132,15	2413,57
11,89	1546,71	3348,60	919,61	4861,06	2668,99	13,37	1602,21	3359,43	588,38	4142,60	2423,15
11,91	1547,41	3358,90	924,63	4869,52	2675,12	13,39	1608,31	3374,03	596,64	4151,59	2432,64
11,93	1549,51	3367,92	930,64	4873,37	2680,36	13,41	1612,65	3389,95	605,07	4161,04	2442,17
11,95	1553,79	3375,43	934,86	4877,67	2685,44	13,43	1617,58	3403,95	614,04	4169,62	2451,30
11,97	1557,58	3381,07	940,45	4885,68	2691,19	13,45	1619,23	3419,84	620,97	4179,34	2459,84
11,99	1562,94	3387,44	945,74	4892,99	2697,28	13,47	1621,29	3435,56	629,17	4187,07	2468,27
12,01	1567,38	3395,12	950,17	4883,72	2699,10	13,49	1625,69	3449,60	635,51	4196,31	2476,78
12,03	1569,84	3400,57	954,28	4802,21	2681,72	13,51	1629,61	3463,61	643,14	4204,40	2485,19
12,05	1575,67	3410,57	958,48	4788,31	2683,26	13,53	1633,35	3476,06	649,50	4213,07	2493,00
12,07	1577,53	3417,24	962,04	4795,20	2688,00	13,55	1635,59	3489,83	656,67	4222,95	2501,26
12,09	1581,89	3428,03	962,13	4804,37	2694,10	13,57	1635,76	3500,97	664,54	4233,17	2508,61
12,11	1586,07	3437,20	959,21	4816,16	2699,66	13,59	1637,41	3510,06	671,54	4242,17	2515,29
12,13	1589,69	3446,73	959,41	4825,44	2705,32	13,61	1638,63	3520,33	678,33	4251,37	2522,17
12,15	1593,11	3450,74	955,54	4833,87	2708,31	13,63	1639,64	3531,52	684,47	4262,07	2529,42
12,17	1577,20	3454,14	952,95	4839,37	2705,91	13,65	1639,35	3543,96	690,94	4270,60	2536,21
12,19	1530,30	3454,06	955,04	4836,94	2694,09	13,67	1641,49	3555,69	697,14	4280,29	2543,65
12,21	1532,76	3457,83	958,80	4839,68	2697,27	13,69	1642,31	3568,18	704,04	4290,25	2551,20
12,23	1540,30	3465,65	961,34	4846,26	2703,39	13,71	1643,71	3578,43	710,34	4300,62	2558,28
12,25	1549,47	3472,22	962,00	4855,91	2709,90	13,73	1646,31	3580,60	715,99	4310,07	2563,24
12,27	1552,21	3479,79	961,33	4865,02	2714,59	13,75	1649,12	3586,24	699,24	4320,99	2563,90
12,29	1559,81	3488,87	966,64	4874,01	2722,33	13,77	1650,18	3592,23	702,64	4328,77	2568,46
12,31	1566,15	3493,92	972,14	4883,76	2728,99	13,79	1650,61	3600,97	708,24	4337,61	2574,36
12,33	1575,11	3496,21	978,03	4892,78	2735,53	13,81	1649,13	3610,85	713,04	4346,39	2579,86
12,35	1581,29	3498,73	984,90	4901,85	2741,69	13,83	1639,65	3616,96	717,67	4341,56	2578,96
12,37	1587,64	3501,91	990,82	4903,46	2745,96	13,85	1631,50	3622,51	723,15	4344,75	2580,48
12,39	1593,82	3506,33	996,17	4909,68	2751,50	13,87	1627,01	3627,53	729,29	4343,76	2581,90
12,41	1599,97	3512,91	1000,83	4918,00	2757,93	13,89	1626,90	3631,98	735,94	4350,97	2586,45
12,43	1604,86	3518,13	1003,90	4924,29	2762,79	13,91	1623,00	3639,59	741,17	4357,50	2590,31
12,45	1609,08	3526,04	1008,61	4931,91	2768,91	13,93	1621,51	3566,43	746,80	4365,60	2575,09
12,47	1610,50	3533,69	1013,33	4939,59	2774,28	13,95	1621,45	3537,25	750,99	4375,25	2571,23
12,49	1614,66	3530,58	1018,95	4947,18	2777,84	13,97	1622,21	3537,96	756,74	4385,57	2575,62
12,51	1620,81	3528,17	1024,84	4953,67	2781,87	13,99	1625,00	3545,13	763,24	4395,27	2582,16
12,53	1625,12	3530,63	1028,94	4935,84	2780,13	14,01	1618,72	3553,74	769,24	4403,57	2586,32
12,55	1631,21	3534,73	1033,50	4857,59	2764,26	14,03	1616,71	3559,03	774,74	4413,58	2591,02
12,57	1634,36	3542,72	1034,54	4847,48	2764,77	14,05	1617,98	3566,24	779,85	4422,10	2596,54
12,59	1639,00	3552,03	930,67	4845,88	2741,89	14,07	1620,81	3569,05	786,18	4431,08	2601,78
12,61	1641,01	3561,33	941,74	4848,37	2748,12	14,09	1626,36	3542,76	790,25	4438,27	2599,41
12,63	1622,08	3568,11	951,88	4853,78	2748,96	14,11	1629,81	3526,08	793,09	4447,45	2599,11
12,65	1621,63	3574,93	948,53	4856,25	2750,34	14,13	1634,09	3526,08	797,57	4454,87	2603,15
12,67	1627,15	3581,69	950,16	4860,51	2754,88	14,15	1636,81	3520,93	802,07	4463,36	2605,79
12,69	1635,95	3588,39	956,94	4866,06	2761,84	14,17	1640,81	3520,19	807,01	4472,17	2610,04
12,71	1643,01	3593,81	963,99	4872,37	2768,29	14,19	1642,90	3525,89	812,51	4480,95	2615,56
12,73	1648,51	3598,66	972,13	4878,55	2774,46	14,21	1645,22	3535,27	812,09	4489,98	2620,64
12,75	1649,91	3604,94	980,30	4883,07	2779,55	14,23	1647,00	3545,26	806,64	4499,05	2624,49
12,77	1650,11	3614,08	987,87	4888,25	2785,08	14,25	1648,62	3556,65	808,73	4508,07	2630,52
12,79	1652,01	3622,25	993,16	4893,34	2790,19	14,27	1650,19	3566,78	812,54	4517,54	2636,76
12,81	1654,32	3631,53	996,71	4899,10	2795,41	14,29	1650,74	3576,91	816,74	4525,89	2642,57
12,83	1650,82	3639,33	1000,13	4904,94	2798,81	14,31	1651,16	3586,73	822,01	4533,87	2648,44
12,85	1649,91	3646,33	1004,56	4909,76	2802,64	14,33	1652,40	3596,63	821,04	4540,61	2652,67
12,87	1650,13	3650,23	1008,24	4918,69	2806,82	14,35	1653,25	3607,68	822,62	4546,12	2657,42
12,89	1654,80	3629,57	267,27	4925,27	2619,23	14,37	1654,81	3611,63	809,89	4555,50	2657,96
12,91	1658,66	3615,43	291,79	4932,25	2624,53	14,39	1657,34	3612,08	803,61	4562,27	2658,83
12,93	1657,96	3611,07	312,80	4939,79	2630,40	14,41	1648,32	3612,81	806,88	4569,75	2659,44
12,95	1653,15	3608,13	331,88	4943,12	2634,07	14,43	1646,25	3616,29	808,58	4577,94	2662,26
12,97	1645,62	3608,13	349,58	4316,62	2479,99	14,45	1642,11	3624,83	810,04	4584,98	2665,49
12,99	1645,11	3608,70	367,04	4296,36	2479,30	14,47	1642,89	3634,14	811,44	4591,97	2670,11
13,01	1645,38	3611,38	382,50	4289,94	2482,30	14,49	1645,76	3642,83	812,44	4600,22	2675,31
13,03	1648,79	3617,23	397,84	4291,37	2488,81	14,51	1647,81	3650,24	813,54	4608,41	2680,00
13,05	1652,29	3623,21	413,96	4295,54	2496,25	14,53	1647,34	3656,84	814,24	4616,10	2683,63
13,07	1651,41	3626,82	427,40	4300,37	2501,50	14,56	1646,65	3662,23	815,79	4623,12	2686,95
13,09	1634,46	3632,53	441,36	4299,67	2502,01	14,58	1648,09	3670,91	816,89	4630,13	2691,51
13,11	1620,22	3642,21	453,24	4299,01	2503,67	14,60	1647,11	3678,83	821,01	4630,10	2694,26
13,13	1601,03	3653,14	466,99	4298,99	2505,04	14,62	1644,70	3687,13	825,34	4634,19	2697,84
13,15	1600,01	3662,38	478,24	4300,45	2510,27	14,64	1643,71	3695,99	828,17	4638,51	2701,60
13,17	1603,51	3669,20	489,92	4303,87	2516,62	14,66	1643,71	3705,13	832,83	4644,65	2706,58
13,19	1604,21	3661,99	501,64	4308,09	2518,98	14,68	1643,85	3714,01	835,41	4644,69	2709,49



14,70	1641,61	3722,73		838,55	4647,52	2712,60					
14,72	1639,22	3723,23		843,86	4642,70	2712,25					
14,74	1635,41	3727,97		840,64	4639,16	2710,79					
14,76	1635,03	3735,63		841,24	4636,37	2712,07					
14,78	1637,76	3741,23		842,64	4637,05	2714,67					
14,80	1639,51	3749,70		846,57	4501,17	2684,24					
14,82	1643,01	3759,15		850,24	4494,24	2686,66					
14,84	1647,45	3766,03		854,51	4493,51	2690,38					
14,86	1649,21	3772,98		857,80	4491,66	2692,91					
14,88	1650,66	3781,14		859,90	4493,67	2696,34					
14,90	1649,21	3788,31		853,81	4497,30	2697,15					
14,92	1649,84	3798,00		831,54	4501,58	2695,24					
14,94	1640,49	3807,02		828,05	4506,97	2695,63					
14,96	1638,11	3817,44		832,94	4511,79	2700,07					
14,98	1640,64	3827,13		837,01	4519,00	2705,94					
15,00	1643,01	3835,44		842,66	4519,84	2710,24					
15,02	1645,34	3844,47		848,84	4518,56	2714,30					
15,04	1648,06	3849,98		851,63	0,00	1587,42					
15,06	1649,43	3856,17		855,84		1590,36					
15,08	1649,43	3861,81		859,94		1592,80					
15,10	1649,70	3869,33		864,77		1595,95					
15,12	1651,03	3874,85		866,29		1598,04					
15,14	1649,21	3716,14		871,93		1559,32					
15,16	1647,98	3690,11		877,94		1554,01					
15,18	1650,24	3695,30		882,95		1557,12					
15,20	1651,11	3702,43		887,85		1560,35					
15,22	1652,01	3624,57		893,37		1542,49					
15,24	1654,32	3615,13		899,34		1542,20					
15,26	1655,76	3614,43		902,39		1543,14					
15,28	1659,29	3618,25		907,14		1546,17					
15,30	1658,76	3628,40		910,54		1549,42					
15,32	1655,62	3637,93		845,00		1534,64					
15,34	1655,39	3647,78		856,35		1539,88					
15,36	1654,69	3655,63		859,94		1542,57					
15,38	1655,59	3664,14		865,82		1546,39					
15,40	1652,81	3670,02		872,97		1548,95					
15,42	1645,96	3679,02		878,92		1550,97					
15,44	1640,91	3688,02		884,24		1553,29					
15,46	1637,41	3695,20		888,34		1555,24					
15,48	1637,95	3704,26		891,84		1558,51					
15,50	1636,71	3712,88		895,74		1561,33					
15,52	1636,06	3720,27		898,98		1563,83					
15,54	1634,02	3724,43		904,03		1565,62					
15,56	1635,39	3726,20		907,49		1567,27					
15,58	1637,40	3730,53		910,81		1569,69					
15,60	1639,50	3731,13		913,44		1571,02					
15,62	1631,19	3730,37		912,35		1568,48					
15,64	1625,04	3731,67		912,35		1567,26					
15,66	1626,41	3735,95		914,34		1569,17					
15,68	1625,66	3741,19		916,86		1570,93					
15,70	1622,15	3750,22		917,44		1572,45					
15,72	1616,61	3760,29		920,56		1574,36					
15,74	1607,57	3768,60		922,36		1574,63					
15,76	1597,94	3780,40		925,04		1575,85					
15,78	1593,11	3790,39		923,97		1576,87					
15,80	1588,75	3798,76		920,61		1577,03					
15,82	1581,07	3807,08		918,45		1576,65					
15,84	1564,44	3811,45		919,25		1573,79					
15,86	1549,29	3816,73		920,52		1571,63					
15,88	1527,62	3816,73		920,37		1566,18					
15,90	1513,88	3817,96		920,94		1563,20					
15,92	1510,57	3822,23		923,12		1563,98					
15,94	1510,56	3828,60		924,99		1566,04					
15,96	1510,71	3832,63		925,06		1567,10					
15,98	1510,85	3837,09		924,58		1568,13					
16,00	1510,71	3844,01		924,81		1569,88					
16,02	1513,41	3849,93		922,34		1571,42					
16,04	1514,11	3856,02		920,24		1572,59					
16,06	1514,70	3859,85		920,69		1573,81					
16,08	1513,85	3857,87		916,95		1572,17					
16,10	1513,78	3840,36		916,94		1567,77					
16,12	1514,11	3816,21		914,67		1561,24					
16,14	1513,50	3812,34		914,14		1559,99					
16,16	1513,41	3810,59		911,62		1558,90					
16,18	1514,81	3807,73		912,47		1558,75					
16,20	1514,62	3800,37		912,81		1556,95					
16,22	1514,57	3798,19		914,10		1556,71					
16,24	1513,27	3798,73		914,07		1556,52					
16,26	1513,84	3798,03		913,94		1556,45					
16,28	1514,71	3800,73		910,77		1556,55					
16,30	1516,91	3805,63		912,27		1558,70					
16,32	1519,71	3812,35		915,15		1561,80					
16,34	1521,45	3818,00		909,72		1562,29					
16,36	1521,41	3821,21		907,66		1562,57					
16,38	1521,43	3799,20		910,65		1557,82					
16,40	1514,14	3764,28		913,90		1548,08					
16,42	1510,38	3721,76		916,13		1537,07					
16,44	1508,98	3689,93		913,86		1528,19					
16,46	1509,66	3685,61		913,94		1527,30					
16,48	1510,63	3680,91		909,90		1525,36					
16,50	1509,69	3676,08		914,49		1525,06					
16,52	1510,28	3667,00		920,25		1524,38					
16,54	1512,71	3662,23		925,71		1525,16					
16,56	1513,41	3666,33		932,74		1528,12					
16,58	1510,99	3671,93		938,92		1530,46					
16,60	1510,01	3678,14		946,54		1533,67					
16,62	1509,91	3685,73		952,76		1537,10					
16,64	1510,20	3683,73		960,42		1538,59					
16,66	1512,25	3685,03		964,54		1540,46					
16,68	1512,94	3691,33		971,50		1543,94					
16,70	1516,21	3698,17		977,78		1548,04					
16,72	1517,82	3706,70		981,59		1551,53					
16,74	1519,21	3714,91		986,58		1555,17					
16,76	1520,21	3726,10		991,23		1559,39					
16,78	1522,23	3736,33		993,84		1563,10					
16,80	1521,87	3744,28		998,54		1566,17					
16,82	1520,24	3750,47		942,74		1553,36					
16,84	1517,75	3758,76		941,74		1554,56					
16,86	1515,51	3761,81		925,74		1550,76					



## Čtyřbodový ohyb

### Rozptýlená vlákna roving 1650 tex; 20kg/m<sup>3</sup>, 10kg/m<sup>3</sup>, 5kg/m<sup>3</sup>

mm	Čtyřbodový ohyb Rozptýlená vlákna roving 1650 tex; 20kg/m <sup>3</sup>					Čtyřbodový ohyb Rozptýlená vlákna roving 1650 tex; 10kg/m <sup>3</sup>					Čtyřbodový ohyb Rozptýlená vlákna roving 1650 tex; 5kg/m <sup>3</sup>				
	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
Dráha	VL1.1.	VL1.2.	VL1.3.	VL1.4.	Průměr	VL2.1.	VL2.2.	VL2.3.	VL2.4.	Průměr	VL3.1.	VL3.2.	VL3.3.	VL3.4.	Průměr
0,00	4,13	6,98	5,20	14,97	7,82	4,00	26,95	4,21	2,93	9,52	2,00	3,28	5,95	4,27	3,87
0,02	41,70	19,19	47,07	58,78	41,69	24,79	62,87	24,00	26,97	34,66	25,12	4,96	24,69	13,90	17,16
0,04	93,41	52,76	103,40	100,88	87,61	79,40	104,74	62,25	64,33	77,68	63,48	6,45	47,68	38,55	39,04
0,06	150,65	97,32	160,13	143,81	137,98	136,17	148,89	102,72	101,17	122,24	104,97	8,04	77,61	71,55	65,54
0,08	208,63	146,04	217,97	190,47	190,78	195,25	196,80	147,05	139,78	169,72	150,90	11,01	101,53	109,98	93,35
0,10	266,68	198,85	277,65	237,30	245,12	255,31	246,54	189,85	175,92	216,90	194,54	15,80	111,45	147,89	117,42
0,12	324,18	254,25	338,98	286,00	300,85	317,03	296,83	230,58	213,47	264,48	243,13	23,34	135,76	184,89	146,78
0,14	380,14	311,62	401,65	327,34	355,19	379,38	348,67	270,75	252,91	312,93	289,30	30,63	169,98	221,33	177,81
0,16	430,98	367,00	464,68	366,19	407,21	442,76	402,43	313,59	293,69	363,11	333,84	62,19	208,00	244,69	212,18
0,18	489,91	423,59	531,18	414,30	464,75	505,46	455,24	354,17	332,34	411,80	381,08	103,25	248,53	275,95	252,20
0,20	533,02	478,08	598,16	455,38	516,16	568,38	511,14	387,29	370,12	459,23	429,73	146,97	289,55	312,46	294,68
0,22	592,42	534,55	665,88	511,90	576,19	633,20	566,91	433,77	421,82	513,93	468,33	192,42	331,74	350,28	335,69
0,24	652,13	536,66	735,29	571,60	623,92	696,68	623,63	480,48	476,60	569,35	496,14	237,11	375,39	393,24	375,47
0,26	714,86	469,10	806,41	630,93	655,32	759,85	680,75	527,67	533,04	625,33	536,16	283,58	378,25	438,59	409,14
0,28	777,86	480,39	877,40	694,49	707,53	824,13	737,40	576,89	586,56	681,24	584,44	330,31	426,50	483,35	456,15
0,30	841,16	554,89	949,31	755,74	775,28	891,01	800,61	626,66	585,19	725,87	621,69	376,84	472,36	524,90	498,95
0,32	905,71	626,26	1020,94	816,41	842,33	956,92	864,61	677,28	639,28	784,52	628,14	419,78	516,56	569,20	533,42
0,34	972,24	697,31	1096,27	875,46	910,32	1018,87	932,80	727,30	684,28	840,81	670,74	462,94	533,95	612,11	569,94
0,36	1039,95	733,20	1172,46	940,87	971,62	1079,21	1003,75	771,61	727,34	895,48	723,24	507,45	580,90	659,11	617,68
0,38	1109,99	738,68	1247,52	1005,95	1025,54	1154,91	1076,47	796,88	772,79	950,26	782,98	551,05	625,87	701,92	665,45
0,40	1179,34	808,86	1319,58	1074,49	1095,57	1233,53	1152,46	860,11	825,19	1017,82	844,03	597,64	659,31	662,66	690,91
0,42	1250,65	875,34	1389,36	1111,29	1156,66	1317,30	1231,85	920,07	838,27	1076,87	907,02	641,58	703,39	720,54	743,13
0,44	1319,57	793,35	1464,20	1149,10	1181,56	1403,06	1313,16	981,63	908,57	1151,60	972,58	677,27	751,78	775,25	794,22
0,46	1390,14	873,05	1002,03	1220,28	1121,37	1490,28	1397,66	1044,36	971,64	1225,98	1036,03	723,73	803,70	828,53	848,00
0,48	1462,80	939,61	1102,83	1287,78	1198,26	1575,27	1481,86	1105,82	1039,41	1300,59	1100,25	752,16	855,43	878,35	896,55
0,50	1535,75	1009,59	1205,58	1343,10	1273,50	1659,28	1561,71	1132,92	1109,06	1365,74	1165,20	764,51	906,86	838,86	918,86
0,52	1609,48	1079,95	1308,00	1410,52	1351,99	312,39	1648,10	1154,61	1178,25	1073,34	1228,08	792,42	943,28	902,71	966,62
0,54	1684,51	1147,53	1411,24	1481,48	1431,19	0,00	1731,04	1216,48	1245,64	1397,72	1292,36	839,83	998,62	963,13	1023,49
0,56	1761,47	1161,99	1511,83	1549,04	1496,08		1813,00	1277,56	1315,45	1468,67	1352,89	894,48	1053,39	1023,87	1081,16
0,58	1838,44	1236,36	1613,85	1613,10	1575,44		0,00	1336,89	1379,47	1358,18	1418,24	948,30	1107,94	1083,85	1139,58
0,60	1916,55	1306,65	1713,14	1678,61	1653,74			1391,46	1428,71	1410,09	1484,45	1003,19	1161,59	1147,85	1199,27
0,62	1987,20	1368,90	1805,42	1742,20	1725,93			0,00	0,00	0,00	1555,29	1011,35	1213,62	1212,72	1248,24
0,64	0,00	1420,72	1630,35	0,00	1017,02							1630,14	1076,79	0,00	1277,38
0,66		1460,00	0,00		0,00							1573,29	1141,50		1345,00
0,68		1335,61										0,00	1204,27		1410,51
0,70		0,00											1272,00		1476,99
0,72													1337,05		1540,01
0,74													1400,77		0,00
0,76													1468,06		0,00
0,78													1536,73		
0,80													1601,45		
0,82													0,00		



## Čtyřbodový ohyb

Roving 1650 tex, osová vzdálenost 10 mm

Tkanina vazba plátňová 160g/m<sup>2</sup>

Tkanina vazba keprova 160g/m<sup>2</sup>

mm	Čtyřbodový ohyb Roving 1650 tex, osová vzdálenost 10 mm				Čtyřbodový ohyb Tkanina vazba plátňová 160g/m <sup>2</sup>				Čtyřbodový ohyb Tkanina vazba keprova 160g/m <sup>2</sup>			
	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
Dráha	ROV1.	ROV2.	ROV3.	Průměr	TK_PL1.	TK_PL2.	TK_PL3.	Průměr	TK_KP1.	TK_KP2.	TK_KP3.	Průměr
0,00	4,27	4,60	11,26	6,71	5,12	9,78	14,50	9,80	6,73	8,61	2,53	5,95
0,02	31,88	49,81	39,03	40,24	32,69	55,81	38,55	42,35	27,09	34,70	38,83	33,54
0,04	78,79	106,24	73,99	86,34	83,32	101,88	86,30	90,50	73,18	80,47	88,49	80,71
0,06	134,43	163,02	111,53	136,33	138,05	147,75	135,13	140,31	124,17	130,72	135,83	130,24
0,08	195,53	220,17	152,32	189,34	198,30	193,37	187,64	193,10	177,58	180,70	184,18	180,82
0,10	257,57	278,29	195,85	243,91	258,12	241,57	236,59	245,43	234,59	234,58	232,45	233,87
0,12	319,87	336,37	245,40	300,55	319,19	288,44	286,85	298,16	294,35	293,43	284,08	290,62
0,14	385,22	396,84	298,12	360,06	376,25	334,50	336,31	349,02	356,09	352,99	334,10	347,72
0,16	453,27	459,24	355,59	422,70	436,59	381,52	383,29	400,47	418,88	414,41	385,67	406,32
0,18	525,01	522,10	416,72	487,94	498,01	424,87	415,78	446,22	482,12	475,97	441,58	466,56
0,20	596,99	583,42	478,30	552,90	555,88	471,08	446,08	491,01	546,19	537,67	498,37	527,41
0,22	665,70	644,24	540,56	616,83	348,60	517,81	483,95	450,12	614,14	599,58	554,17	589,30
0,24	733,71	704,53	602,87	680,37	429,55	565,57	520,73	505,28	687,75	662,70	610,06	653,50
0,26	804,50	718,87	664,83	729,40	509,51	615,41	559,64	561,52	760,03	728,46	670,33	719,60
0,28	877,05	730,89	728,92	778,95	587,84	663,63	599,34	616,94	829,60	797,09	734,25	786,98
0,30	949,55	745,07	791,75	828,79	660,31	710,86	646,36	672,51	904,09	873,25	795,17	857,50
0,32	1022,03	792,69	854,56	889,76	733,94	759,86	700,47	731,42	982,28	949,52	844,69	925,50
0,34	1095,33	842,29	909,60	949,07	804,40	809,38	739,57	784,45	1063,75	1030,49	905,79	1000,01
0,36	1171,13	899,73	966,61	1012,49	877,02	854,69	746,11	825,94	1147,27	1113,58	953,94	1071,60
0,38	1249,16	959,93	1032,82	1080,64	952,59	897,77	804,09	884,82	1238,03	1203,11	1020,79	1153,98
0,40	1327,48	1021,32	1101,99	1150,26	1031,45	944,71	860,86	945,67	1330,63	1295,92	1090,51	1239,02
0,42	1408,31	1082,36	1165,90	1218,86	1115,09	895,91	916,44	975,81	1425,64	1389,25	1166,01	1326,96
0,44	1487,99	1142,54	1221,88	1284,13	1199,89	950,80	975,11	1041,93	1519,18	1382,10	1247,79	1383,02
0,46	1567,92	1202,78	1295,55	1355,41	1282,85	1000,00	1031,64	1104,83	1613,00	1337,24	1333,97	1428,07
0,48	1647,00	1262,05	1365,39	1424,81	1367,45	1020,96	1092,79	1160,40	1697,61	1300,48	1421,38	1473,16
0,50	967,88	1318,73	1438,18	1241,60	1452,93	1063,58	1157,72	1224,74	1604,98	1298,69	1435,45	1446,37
0,52	910,32	890,12	1475,66	1092,03	1531,98	1108,91	1222,74	1287,88	1586,89	1332,26	1505,27	1474,81
0,54	909,07	871,41	955,03	911,84	1444,46	1157,92	1301,33	1301,23	1629,26	1363,24	1427,52	1473,34
0,56	912,07	879,71	960,34	917,37	1510,14	1164,80	1387,10	1354,02	1639,75	1386,16	1153,23	1393,05
0,58	914,25	887,39	969,77	923,80	1417,73	1042,07	1474,32	1311,37	1522,23	1414,69	1186,88	1374,60
0,60	915,08	894,21	974,79	928,03	1144,40	1088,23	1562,72	1265,12	1546,44	1438,46	1223,45	1402,78
0,62	916,10	898,41	978,67	931,06	1141,84	1135,67	1586,38	1287,96	1576,01	1463,47	1259,19	1432,89
0,64	917,64	902,61	974,98	931,74	1161,00	1181,96	1538,87	1293,95	1610,08	1486,31	1297,61	1464,67
0,66	921,01	906,16	967,64	931,60	1180,63	1225,57	1401,16	1269,12	1645,47	1511,96	1335,46	1497,63
0,68	922,21	908,11	951,53	927,28	1199,10	1038,91	1440,15	1226,05	1679,82	1538,55	1361,08	1526,48
0,70	920,55	911,71	937,67	923,31	1222,02	1042,60	1477,58	1247,40	1710,83	1557,74	1388,28	1552,28
0,72	920,43	910,21	918,30	916,31	1242,79	1056,91	1511,59	1270,43	1630,02	1581,00	1409,83	1540,28
0,74	921,66	913,01	912,06	915,57	1263,17	1075,91	1538,90	1292,66	1468,40	1601,06	1380,55	1483,33
0,76	921,71	914,64	908,32	914,89	1283,29	1094,49	1557,84	1311,87	1482,99	1620,08	1404,96	1502,68
0,78	908,47	913,69	906,75	909,64	1298,07	1109,96	1582,09	1330,04	1518,47	1639,79	1421,18	1526,48
0,80	903,44	915,41	906,80	908,55	1316,86	1127,75	1589,00	1344,54	1555,06	1657,90	1437,68	1550,21
0,82	898,43	913,84	902,74	905,00	1335,19	1144,69	1624,19	1368,02	1591,86	1679,26	1458,58	1576,56
0,84	895,83	913,78	899,41	903,01	1358,06	1161,69	1655,30	1391,68	1621,07	1700,76	1478,43	1600,08
0,86	895,30	914,31	899,50	903,04	1378,56	1177,80	1680,67	1412,34	1645,71	1720,33	1501,46	1622,50
0,88	895,56	914,73	899,73	903,34	1401,16	1194,91	1616,53	1404,20	1672,27	1739,49	1516,64	1642,80
0,90	898,10	910,91	899,90	902,97	1358,17	1209,01	1632,46	1399,88	1697,10	1757,74	1532,50	1662,45
0,92	896,66	906,02	900,00	900,89	1370,85	1225,44	1578,62	1391,64	1714,86	1776,03	1550,81	1680,57
0,94	895,42	904,03	897,46	898,97	1391,07	1235,86	1611,17	1412,70	1736,35	1186,87	1563,94	1495,72
0,96	896,36	902,57	888,03	895,65	1411,94	1247,89	1588,51	1416,11	1758,41	1202,70	1575,23	1512,12
0,98	896,99	898,13	885,26	893,46	1422,82	1255,81	1577,00	1418,54	1778,27	1220,41	1585,27	1527,99





1,00	898,55	896,29	885,13	893,32	1436,06	1266,74	1588,58	1430,46	1798,88	1235,99	1594,44	1543,10
1,02	897,59	893,15	883,51	891,42	1448,79	1279,84	1603,87	1444,17	1811,46	1252,22	1596,22	1553,30
1,04	899,76	890,40	885,19	891,78	1460,48	1291,81	1626,05	1459,44	1825,14	1265,08	1592,25	1560,82
1,06	899,07	887,31	886,88	891,28	1472,06	1302,41	1646,09	1473,52	1834,37	1275,96	1583,20	1564,51
1,08	900,22	884,58	887,14	890,85	1476,96	1312,60	1668,03	1485,86	1839,26	1285,06	1571,93	1565,41
1,10	902,45	884,02	889,87	892,11	1488,15	1316,15	1687,52	1496,60	1840,93	1294,21	1552,07	1562,40
1,12	902,59	883,03	891,80	892,41	1494,98	1322,78	1705,22	1507,66	1843,91	1301,78	1532,41	1559,37
1,14	903,43	882,74	893,12	893,10	1508,94	1331,06	1722,73	1520,24	1845,46	1307,16	1520,33	1557,65
1,16	905,71	881,11	893,70	893,50	1513,63	1339,52	1738,27	1530,47	1849,51	1314,00	1504,43	1555,98
1,18	906,41	879,49	893,14	893,01	1516,46	1348,99	1754,41	1539,95	1851,22	1318,96	1487,58	1552,59
1,20	907,51	877,26	893,09	892,62	1523,71	1354,91	1767,74	1548,79	1840,86	1323,54	1477,87	1547,36
1,22	906,47	877,03	895,00	892,83	1529,46	1363,43	1781,15	1558,02	1829,02	1329,36	1464,97	1541,12
1,24	907,78	878,19	897,10	894,36	1534,49	1370,59	1794,64	1566,57	1825,57	1334,86	1454,52	1538,31
1,26	907,46	878,70	895,73	893,97	1537,57	1379,10	1806,88	1574,52	1816,69	1341,57	1442,32	1533,53
1,28	905,01	880,65	897,06	894,24	1541,73	1385,31	1820,20	1582,41	1802,51	1346,98	1429,88	1526,46
1,30	903,01	878,93	895,36	892,43	1546,15	1391,13	1834,06	1590,45	1783,61	1354,24	1417,93	1518,59
1,32	904,07	877,61	901,00	894,22	1543,46	1398,72	1845,90	1596,02	1758,76	1353,56	1403,51	1505,27
1,34	905,31	876,37	910,30	897,33	1542,33	1315,95	1857,66	1571,98	1735,26	1355,04	1392,30	1494,20
1,36	905,57	873,59	921,69	900,28	1534,12	1318,31	1868,58	1573,67	1711,51	1356,11	1370,87	1479,50
1,38	906,45	874,79	933,20	904,82	1527,56	1339,30	1878,17	1581,67	1687,68	1353,20	1293,41	1444,77
1,40	908,28	871,82	943,38	907,83	1522,12	1359,24	1885,40	1588,92	1668,31	1352,67	1276,74	1432,57
1,42	908,47	870,38	957,27	912,04	1516,48	1373,69	1893,70	1594,63	1648,87	1345,96	1260,13	1418,32
1,44	908,67	869,33	970,35	916,11	1509,90	1387,41	1900,10	1599,13	1629,89	1341,77	1239,81	1403,82
1,46	908,86	867,31	981,70	919,29	1501,73	1392,20	1909,26	1601,07	1609,86	1338,10	1222,90	1390,29
1,48	911,47	866,45	995,33	924,42	1493,97	1400,47	1917,20	1603,88	1593,50	1335,12	1207,43	1378,68
1,50	911,30	864,73	1006,72	927,58	1484,40	1389,52	1924,28	1599,40	1575,31	1334,32	1185,91	1365,18
1,52	910,88	863,27	1016,48	930,20	1466,34	1393,91	1930,94	1597,07	1559,01	1333,56	1166,89	1353,16
1,54	911,87	861,43	1025,79	933,03	1442,93	1402,04	1936,00	1593,66	1542,46	1332,74	1148,56	1341,25
1,56	910,98	861,01	1035,56	935,85	1424,26	1412,06	1933,05	1589,79	1523,54	1333,17	1129,98	1328,90
1,58	911,74	860,16	1042,29	938,06	1399,96	1420,01	1917,90	1579,29	1503,24	1331,74	1107,71	1314,23
1,60	912,04	858,84	1049,86	940,25	1339,80	1427,36	1915,49	1560,88	1480,90	1333,55	1084,90	1299,78
1,62	916,19	858,37	1056,67	943,74	1303,98	1434,35	1923,94	1554,09	1461,23	1330,22	1068,93	1286,79
1,64	924,01	856,11	1062,72	947,61	1243,58	1439,45	1930,40	1537,81	1442,39	1330,39	1044,89	1272,56
1,66	927,91	856,11	1066,90	950,30	1215,41	1445,97	1936,00	1532,46	1417,21	1328,74	1010,20	1252,05
1,68	932,71	855,17	1071,39	953,09	1199,17	1450,43	1941,85	1530,49	1394,98	1327,17	979,03	1233,73
1,70	935,32	854,97	1074,85	955,05	1184,60	1457,20	1946,51	1529,44	1369,46	1320,09	952,95	1214,17
1,72	938,96	854,71	1078,71	957,46	1166,79	1463,77	1946,27	1525,61	1346,56	1315,09	925,05	1195,57
1,74	940,27	852,70	1082,10	958,36	1147,39	1469,61	1941,03	1519,34	1323,53	1307,39	901,04	1177,32
1,76	941,88	853,92	1086,24	960,68	1117,32	1474,96	1943,60	1511,96	1299,99	1304,36	888,40	1164,25
1,78	944,68	851,63	1088,30	961,54	1096,20	1481,48	1945,70	1507,79	1276,63	1299,56	882,04	1152,74
1,80	945,45	851,79	1087,00	961,41	1074,15	1485,81	1949,80	1503,25	1245,44	1294,97	872,53	1137,65
1,82	948,71	850,61	1086,38	961,90	1040,50	1489,91	1953,52	1494,64	1212,65	1290,50	863,83	1122,32
1,84	950,80	849,21	1085,11	961,71	988,45	1495,20	1957,17	1480,27	1181,78	1282,79	855,78	1106,78
1,86	952,80	849,91	1085,48	962,73	961,25	1499,60	1960,90	1473,92	1148,59	1276,93	843,96	1089,83
1,88	954,91	850,53	1086,12	963,85	932,83	1504,79	1962,15	1466,59	1113,73	1273,45	836,07	1074,42
1,90	957,04	850,56	1086,54	964,71	913,04	1507,55	1960,46	1460,35	1074,51	1269,56	829,87	1057,98
1,92	960,64	850,36	1085,07	965,35	882,20	1511,78	1957,59	1443,86	1037,66	1260,28	823,63	1040,52
1,94	962,64	848,09	1078,73	963,15	835,00	1514,97	1952,60	1434,19	1000,52	1256,56	816,02	1024,37
1,96	966,05	848,09	1079,44	964,52	820,84	1519,92	1947,59	1429,45	971,06	1251,10	807,72	1009,96
1,98	969,91	847,66	1081,11	965,62	803,41	1523,52	1942,58	1423,17	931,07	1247,53	800,34	992,98
2,00	971,51	847,11	1083,06	967,22	785,29	1526,81	1936,00	1416,03	880,88	1241,72	795,40	972,67
2,02	974,01	842,31	1086,92	967,74	747,62	1530,20	1928,91	1402,24	839,67	1234,15	791,66	955,16
2,04	976,51	839,82	1088,95	968,36	719,27	1533,79	1919,30	1390,79	802,01	1226,16	788,23	938,80
2,06	979,91	838,81	1092,10	970,27	702,33	1534,76	1908,18	1381,75	753,88	1220,56	781,64	918,69
2,08	982,94	835,04	1093,25	970,41	688,46	1537,55	1892,36	1372,79	711,48	1214,08	777,32	900,96
2,10	985,28	833,31	1097,43	972,01	680,86	1538,41	1877,10	1365,45	682,17	1207,36	774,27	887,93
2,12	988,89	831,39	1098,03	972,77	672,64	1535,96	1852,27	1353,62	653,82	1201,16	761,22	872,07
2,14	992,16	829,81	1099,25	973,74	659,36	1534,76	1832,96	1342,36	630,47	1196,36	756,42	861,08
2,16	996,09	828,10	1100,12	974,77	654,95	1535,01	1807,88	1332,61	612,58	1189,66	752,63	851,62
2,18	997,64	827,12	1100,80	975,19	647,04	1533,07	1787,43	1322,51	591,76	1184,42	749,66	841,95
2,20	999,90	825,00	1097,56	974,15	637,28	1529,41	1766,03	1310,90	571,65	1173,31	745,33	830,10
2,22	999,77	822,21	1096,00	972,66	630,96	1522,99	1731,20	1295,05	551,68	1165,45	742,54	819,89
2,24	1000,01	819,74	1098,57	972,77	627,77	1487,86	1695,68	1270,44	533,16	1160,05	740,42	811,21
2,26	997,74	818,68	1098,30	971,58	609,93	1474,52	1657,81	1247,42	519,21	1151,35	737,03	802,53
2,28	995,80	815,46	1098,05	969,77	599,76	1443,51	1620,76	1221,34	502,96	1140,28	733,83	792,36
2,30	994,23	813,64	1099,56	969,14	593,98	1431,27	1570,85	1198,70	484,58	1130,81	730,52	781,97
2,32	992,81	811,40	1100,10	968,10	591,16	1424,79	1517,73	1177,89	467,42	1118,12	729,37	771,64
2,34	992,44	810,41	1101,85	968,23	588,70	1415,60	1464,86	1156,38	452,76	1106,77	726,90	762,14
2,36	991,47	808,78	1102,41	967,55	586,56	1400,69	1321,63	1102,92	441,06	1094,46	722,07	752,53
2,38	988,80	806,82	1102,34	965,92	581,22	1373,59	1092,51	1015,77	429,29	1082,55	716,92	742,92
2,40	987,51	805,61	1101,50	964,87	578,60	1362,41	772,12	904,38	419,59	1069,00	712,72	733,77
2,42	986,80	803,46	1098,44	962,90	576,18	1334,47	587,90	832,85	407,52	1052,86	710,42	723,60
2,44	986,70	802,66	1099,98	963,12	574,78	1298,98	539,31	804,35	395,35	1039,76	706,67	713,93



2,46	984,40	800,20	1100,08	961,56	573,06	1269,42	528,00	790,16	382,27	1027,26	703,12	704,22
2,48	983,13	797,56	1098,01	959,57	570,66	1237,82	520,34	776,27	370,91	1012,13	698,39	693,81
2,50	983,34	796,51	1096,70	958,85	567,76	1212,34	514,90	765,00	359,06	998,86	694,24	684,05
2,52	981,48	794,34	1095,30	957,04	564,36	1151,02	510,19	741,86	346,06	979,46	689,38	671,63
2,54	980,88	793,53	1093,20	955,87	560,96	1130,07	505,82	732,28	334,96	959,20	684,42	659,53
2,56	978,45	790,31	1092,23	953,67	558,80	1081,84	501,43	713,96	324,11	936,89	680,22	647,01
2,58	976,44	788,91	1091,10	952,15	554,67	1055,09	497,10	702,28	308,23	903,80	678,15	630,06
2,60	975,01	784,81	1090,35	950,05	552,13	1019,98	490,60	687,57	295,98	876,58	675,66	616,07
2,62	972,43	783,18	1088,40	948,00	548,01	996,60	473,28	672,63	286,45	842,88	672,39	600,57
2,64	971,13	782,01	1088,14	947,09	544,36	964,21	443,26	650,61	278,69	816,61	668,97	588,09
2,66	968,10	780,17	1085,36	944,55	538,06	941,05	438,84	639,31	272,35	797,47	664,48	578,10
2,68	967,16	778,59	1084,33	943,36	534,24	914,78	437,90	628,97	265,43	774,48	660,83	566,91
2,70	966,88	775,81	1081,25	941,31	529,99	865,02	435,05	610,02	257,36	754,26	659,42	557,01
2,72	967,41	773,71	1081,65	940,92	525,65	742,76	432,62	567,01	246,53	730,38	654,90	544,94
2,74	965,30	770,91	1078,17	938,13	522,78	572,69	428,90	508,12	243,17	698,62	654,84	532,21
2,76	961,80	769,37	1073,82	935,00	517,24	496,11	404,04	472,46	236,48	670,34	652,42	519,75
2,78	959,32	769,25	1071,43	933,33	511,06	470,26	398,12	459,81	231,76	646,88	649,80	509,48
2,80	958,94	766,41	1067,60	930,65	508,22	453,48	390,80	450,83	226,97	632,30	647,25	502,17
2,82	956,81	764,22	1065,94	928,99	503,46	428,62	379,95	437,34	223,82	612,88	643,58	493,43
2,84	949,80	761,40	1063,40	926,94	500,27	413,63	368,64	427,51	221,36	590,81	643,34	485,10
2,86	953,51	760,51	1060,79	924,93	495,86	391,70	345,80	411,12	219,08	575,48	640,72	478,43
2,88	953,47	756,72	1057,90	922,70	493,03	386,22	336,42	405,23	215,50	563,07	638,55	472,37
2,90	950,45	755,01	1051,71	919,06	490,38	381,46	331,82	401,22	212,74	548,16	635,13	465,34
2,92	946,80	754,05	1049,58	917,81	486,84	381,02	329,91	399,25	208,86	533,20	631,67	457,91
2,94	946,60	752,03	1042,29	913,64	484,06	376,69	328,81	396,52	204,06	518,04	629,13	450,41
2,96	943,65	749,27	1037,10	910,01	480,67	371,85	327,48	393,33	201,64	505,26	625,90	444,27
2,98	940,54	746,71	1035,72	907,66	474,14	367,61	325,76	389,13	199,62	494,27	624,03	439,31
3,00	936,06	743,66	1032,06	903,90	468,24	363,81	325,70	385,92	197,06	480,84	621,48	433,13
3,02	932,10	741,11	1030,20	901,14	464,18	359,97	325,26	383,14	194,81	469,78	618,98	427,86
3,04	930,01	737,97	1024,21	897,39	459,76	353,36	324,13	379,08	192,96	457,99	615,27	422,07
3,06	925,80	734,94	1021,31	894,02	456,24	339,11	322,98	372,77	191,31	444,56	610,91	415,59
3,08	923,40	730,71	1017,93	890,68	453,06	334,70	322,90	370,22	189,46	430,44	607,42	409,11
3,10	920,19	727,45	1011,09	886,24	451,34	331,40	322,95	368,57	186,66	422,08	603,91	404,22
3,12	917,82	725,91	1008,53	884,09	448,40	327,30	321,71	365,80	184,34	412,66	601,22	399,41
3,14	916,39	720,84	1004,60	880,61	445,26	323,11	318,87	362,41	183,26	402,53	597,03	394,27
3,16	912,97	720,31	1001,55	878,28	439,96	320,40	317,14	359,17	181,52	394,54	592,92	389,66
3,18	911,62	718,31	998,30	876,08	438,26	317,48	316,00	357,24	178,66	386,94	591,19	385,60
3,20	907,80	715,12	992,85	871,93	435,27	314,70	314,76	354,91	177,52	378,76	588,81	381,70
3,22	906,84	712,85	989,16	869,62	433,78	311,30	315,09	353,39	176,33	371,59	586,63	378,18
3,24	902,98	712,01	984,40	866,46	431,34	309,77	312,22	351,11	174,72	365,54	584,92	375,06
3,26	900,82	709,91	981,00	863,91	427,90	306,21	311,20	348,44	173,95	358,11	582,53	371,53
3,28	897,41	708,16	979,59	861,72	425,86	303,61	309,80	346,42	171,57	351,66	579,44	367,55
3,30	893,30	705,97	975,57	858,28	420,04	298,61	308,32	342,32	171,36	345,40	576,07	364,28
3,32	888,44	705,11	970,54	854,70	416,10	294,70	307,00	339,27	169,00	339,88	571,21	360,03
3,34	886,04	702,04	964,49	850,86	411,75	292,61	304,60	336,32	167,50	334,36	569,88	357,25
3,36	885,28	700,61	959,50	848,46	407,16	290,54	303,54	333,75	164,85	327,46	565,22	352,51
3,38	882,91	698,82	954,15	844,62	398,27	289,04	302,37	329,89	163,99	323,85	561,63	349,79
3,40	880,07	696,05	949,80	841,97	393,26	287,35	301,50	327,37	163,16	317,17	556,47	345,60
3,42	877,83	693,63	946,41	839,29	390,98	284,30	300,02	325,10	161,84	312,38	551,73	341,99
3,44	874,04	691,43	944,18	836,55	384,72	282,90	298,64	321,42	160,37	307,92	547,13	338,47
3,46	870,28	688,52	940,73	833,18	382,16	281,22	297,07	320,15	159,08	303,18	544,78	335,68
3,48	867,60	687,11	934,97	829,90	377,50	280,96	295,68	318,04	158,96	300,14	541,81	333,64
3,50	862,56	683,90	931,80	826,08	376,86	278,82	295,04	316,91	157,11	296,52	539,77	331,14
3,52	859,30	680,89	926,56	822,25	374,80	278,80	293,10	315,57	156,15	292,76	537,48	328,80
3,54	856,51	678,11	923,25	819,29	371,15	277,78	292,40	313,78	153,95	288,56	532,71	325,07
3,56	853,92	676,01	920,70	816,87	369,40	278,46	290,59	312,82	153,50	285,40	529,13	322,67
3,58	850,18	672,79	917,20	813,39	366,26	273,20	288,30	309,25	151,36	281,06	525,72	319,38
3,60	847,25	671,25	913,10	810,53	361,81	270,51	285,18	305,83	150,65	276,17	521,45	316,09
3,62	844,43	668,82	909,31	807,52	355,86	269,73	281,02	302,20	148,56	270,61	516,71	311,96
3,64	841,68	666,58	904,29	804,19	352,20	267,93	280,00	300,04	147,72	266,11	513,40	309,08
3,66	839,49	664,21	899,20	800,97	349,64	266,30	278,54	298,16	147,16	260,71	511,13	306,33
3,68	835,06	662,11	895,52	797,56	346,25	266,11	276,50	296,29	145,86	257,44	506,92	303,41
3,70	830,87	661,10	891,60	794,52	342,63	264,44	274,08	293,72	144,92	252,66	504,53	300,71
3,72	826,33	656,29	886,24	789,62	337,16	263,65	272,24	291,01	143,92	248,54	501,60	298,02
3,74	823,40	655,21	884,03	787,54	331,53	263,51	269,60	288,21	143,64	245,66	498,63	295,97
3,76	819,81	652,97	878,40	783,73	326,57	262,60	267,89	285,75	142,66	240,16	494,93	292,58
3,78	815,49	650,31	876,30	780,70	325,10	262,60	266,48	284,73	140,96	237,11	490,53	289,53
3,80	812,62	648,20	873,55	778,12	323,05	260,11	264,61	282,59	141,17	232,16	487,39	286,91
3,82	808,57	645,07	870,23	774,62	320,37	260,11	262,70	281,06	139,46	227,80	483,42	283,56
3,84	805,23	642,71	867,30	771,75	317,87	259,40	261,30	279,52	139,40	222,53	479,72	280,55
3,86	800,87	640,15	862,34	767,79	317,06	252,06	259,38	276,17	138,60	217,96	477,23	277,93
3,88	796,21	638,56	859,00	764,59	316,04	251,06	257,64	274,92	137,46	215,47	472,33	275,09
3,90	792,10	635,11	854,43	760,55	311,68	249,71	255,00	272,13	136,72	211,06	469,32	272,37
3,92	788,72	632,23	848,25	756,40	306,71	249,35	253,31	269,79	136,50	207,42	465,81	269,91



3,94	785,91	629,45	844,50	753,28	305,51	248,82	253,00	269,11	135,06	204,76	461,92	267,25
3,96	782,01	625,74	839,50	749,08	303,16	247,60	250,20	266,98	134,76	202,06	457,13	264,65
3,98	777,65	624,10	834,98	745,58	301,97	247,02	248,10	265,70	134,53	199,90	452,92	262,45
4,00	773,86	622,13	828,71	741,57	299,76	245,51	246,70	263,99	133,75	197,16	449,42	260,11
4,02	770,02	620,02	823,84	737,96	296,39	241,92	245,47	261,26	132,66	194,32	446,73	257,90
4,04	764,13	616,00	818,93	733,02	294,86	241,78	243,90	260,18	131,26	191,81	442,52	255,20
4,06	760,19	612,93	814,58	729,24	286,54	240,01	241,20	255,92	131,03	190,25	438,33	253,20
4,08	756,10	609,90	811,07	725,69	284,41	236,36	240,79	253,85	130,26	187,19	434,23	250,56
4,10	751,91	606,71	806,40	721,67	280,36	233,71	239,11	251,06	129,75	183,70	431,26	248,24
4,12	748,30	603,21	803,60	718,37	277,08	232,02	237,77	248,96	128,55	181,91	427,33	245,93
4,14	745,68	599,11	798,00	714,26	276,86	229,59	236,64	247,69	128,15	178,58	425,69	244,14
4,16	740,54	596,96	792,19	709,90	275,25	228,41	234,20	245,95	127,06	178,04	421,58	242,23
4,18	735,77	594,21	789,02	706,33	275,04	224,88	233,53	244,48	126,59	175,31	417,71	239,87
4,20	733,15	590,16	784,90	702,74	273,36	225,24	232,66	243,75	125,31	172,37	414,23	237,30
4,22	728,99	588,65	779,30	698,98	272,66	224,19	231,80	242,88	124,51	168,76	410,63	234,63
4,24	725,06	586,28	773,73	695,02	271,87	223,30	231,22	242,13	124,36	166,66	407,60	232,87
4,26	719,79	583,18	768,90	690,62	271,36	222,01	228,01	240,46	123,61	164,10	403,02	230,25
4,28	715,66	580,41	764,91	686,99	271,55	221,62	224,95	239,37	122,96	163,25	401,47	229,23
4,30	711,54	578,55	761,27	683,78	269,26	220,54	223,20	237,66	122,26	161,02	397,08	226,78
4,32	707,60	577,00	759,08	681,23	269,44	218,52	222,18	236,71	121,56	159,76	394,73	225,35
4,34	704,63	574,02	755,64	678,10	267,86	197,01	219,00	227,95	120,81	158,70	393,17	224,23
4,36	701,30	571,43	752,35	675,03	265,76	201,94	216,90	226,20	119,95	157,14	389,83	222,31
4,38	698,47	568,18	748,98	671,88	265,06	200,86	215,00	226,97	119,46	156,08	389,22	221,59
4,40	694,41	564,29	743,99	667,56	263,31	203,79	212,85	226,65	118,14	154,13	386,43	219,57
4,42	690,69	562,27	736,84	663,27	263,16	204,84	211,40	226,47	117,37	153,55	384,18	218,37
4,44	687,60	558,34	730,94	658,96	261,68	206,01	210,31	226,00	117,11	153,43	381,52	217,36
4,46	682,60	556,54	726,93	655,36	260,96	206,12	208,60	225,22	116,06	151,79	378,63	215,49
4,48	678,91	553,81	721,80	651,50	260,23	204,69	207,85	224,25	116,06	150,22	376,02	214,10
4,50	676,34	549,97	715,07	647,13	259,20	204,60	206,50	223,44	115,19	147,96	372,08	211,74
4,52	671,59	548,05	711,40	643,68	258,86	204,39	205,48	222,91	114,43	147,09	369,50	210,34
4,54	668,74	545,38	707,24	640,45	257,33	204,07	203,18	221,53	112,15	145,83	368,32	208,77
4,56	666,01	543,61	705,11	638,24	257,47	204,06	203,05	221,52	113,13	144,56	364,92	207,54
4,58	660,45	540,12	697,27	632,61	256,76	203,44	201,08	220,42	112,22	144,56	363,52	206,77
4,60	657,32	536,97	693,09	629,12	253,96	201,94	199,23	218,37	111,47	142,91	362,13	205,50
4,62	653,23	533,55	688,58	625,12	253,74	201,22	198,85	217,94	110,68	141,45	358,57	203,57
4,64	649,88	530,51	682,87	621,09	252,14	201,72	197,41	217,09	109,67	139,53	355,23	201,47
4,66	645,96	527,67	677,50	617,04	247,76	200,71	194,70	214,39	108,20	138,83	351,73	199,59
4,68	643,10	524,50	673,86	613,82	246,36	198,64	192,49	212,49	107,29	138,05	348,06	197,80
4,70	640,01	523,27	669,20	610,82	241,23	198,44	192,08	210,58	105,77	137,38	344,13	195,76
4,72	636,75	520,11	663,85	606,90	241,56	197,32	190,60	209,82	106,38	135,56	340,81	194,25
4,74	633,41	517,40	658,45	603,08	241,49	197,02	188,46	208,99	105,75	134,72	338,93	193,13
4,76	627,91	515,35	654,60	599,29	240,38	195,69	187,61	207,89	105,02	133,46	335,38	191,29
4,78	623,71	511,81	648,40	594,64	240,01	195,60	185,79	207,13	103,57	132,51	334,36	190,15
4,80	619,29	508,59	644,20	590,70	240,16	193,60	184,74	206,17	103,44	131,41	330,85	188,57
4,82	614,71	505,25	639,34	586,43	240,16	192,21	182,79	205,05	103,17	130,33	327,51	187,00
4,84	609,91	503,92	636,29	583,37	237,79	192,30	182,30	204,13	102,86	128,56	324,73	185,38
4,86	606,67	501,41	632,27	580,12	238,02	190,84	182,20	203,62	102,23	127,69	322,63	184,18
4,88	602,88	497,17	628,61	576,22	238,06	190,10	180,47	202,88	101,00	125,86	317,64	181,50
4,91	598,80	493,81	624,62	572,41	238,68	188,31	178,80	201,93	100,37	124,73	314,46	179,85
4,93	595,30	490,55	619,30	568,38	238,43	187,93	178,79	201,71	100,56	124,11	312,15	178,94
4,95	592,51	488,37	613,19	564,69	236,89	187,30	176,76	200,32	100,67	122,45	309,52	177,55
4,97	589,83	485,65	606,35	560,61	236,78	185,19	176,35	199,44	99,17	122,24	307,89	176,43
4,99	587,01	483,41	602,52	557,64	236,28	185,90	174,21	198,80	98,19	120,41	304,40	174,33
5,01	583,83	480,48	601,25	555,19	237,23	184,51	172,66	198,13	97,49	118,57	302,98	173,01
5,03	581,35	478,49	597,10	552,31	236,79	184,67	171,90	197,78	96,89	117,71	300,13	171,58
5,05	578,01	475,60	592,90	548,84	236,66	182,77	171,50	196,96	96,71	117,60	297,37	170,56
5,07	573,38	471,56	572,66	539,20	235,43	181,80	169,80	195,68	94,12	115,20	294,92	168,08
5,09	570,41	469,51	568,69	536,20	234,99	181,15	169,09	195,07	91,77	114,20	290,63	165,54
5,11	566,33	466,71	566,06	533,03	233,49	179,01	167,47	193,32	93,10	114,06	287,48	164,88
5,13	563,22	465,40	563,41	530,68	232,56	176,58	165,48	191,54	91,06	113,20	284,27	162,84
5,15	559,54	463,70	562,92	528,72	232,99	176,20	165,13	191,44	91,06	111,70	281,70	161,48
5,17	557,74	461,29	560,93	526,66	232,56	174,26	164,69	190,50	89,70	110,36	279,68	159,91
5,19	553,70	459,09	558,30	523,70	231,86	172,47	162,90	189,07	90,65	108,55	276,23	158,47
5,21	546,68	456,91	556,57	520,05	230,37	171,92	161,91	188,06	89,30	107,16	275,13	157,20
5,23	543,59	455,01	552,85	517,15	229,04	170,13	160,87	186,68	89,12	105,92	274,09	156,38
5,25	539,44	452,64	551,84	514,64	229,23	170,01	159,99	186,41	88,95	105,04	272,77	155,59
5,27	535,71	448,84	548,18	510,91	229,04	168,99	158,43	185,49	88,26	103,78	271,42	154,49
5,29	531,97	446,39	546,26	508,21	228,90	168,00	156,84	184,58	88,26	103,31	270,37	153,98
5,31	529,35	443,41	543,01	505,25	228,42	167,94	154,65	183,67	87,55	102,53	267,23	152,43
5,33	525,94	440,60	539,78	502,14	228,25	166,61	154,60	183,12	86,96	100,86	266,30	151,37
5,35	521,26	440,17	536,51	499,31	228,32	165,33	152,82	182,16	86,26	99,62	262,37	149,42
5,37	518,41	436,54	530,66	495,20	227,94	165,65	152,94	182,18	85,30	100,16	258,92	148,13
5,39	514,91	434,41	528,42	492,58	227,32	163,10	131,70	174,04	85,10	98,64	257,50	147,08
5,41	512,22	432,60	524,40	489,74	226,16	162,17	129,21	172,51	85,56	98,06	253,58	145,73



5,43	509,27	429,64	511,20	483,37	225,56	161,23	125,50	170,76	84,79	96,76	251,10	144,22
5,45	507,02	427,75	509,07	481,28	225,29	159,60	122,70	169,20	84,65	95,76	246,97	142,46
5,47	504,93	426,39	505,11	478,81	223,84	158,38	120,71	167,64	82,83	96,47	244,86	141,39
5,49	501,73	423,81	502,34	475,96	222,01	158,11	118,94	166,36	81,93	94,41	242,32	139,56
5,51	498,53	421,71	499,94	473,39	222,67	156,86	116,66	165,40	82,31	93,26	238,60	138,06
5,53	494,86	420,31	496,75	470,64	221,46	154,87	115,80	164,04	82,06	92,74	235,30	136,70
5,55	493,17	417,51	494,60	468,43	220,97	154,30	114,40	163,22	80,74	91,96	228,50	133,73
5,57	489,41	416,03	492,82	466,09	219,99	154,42	111,60	162,00	80,56	90,73	223,90	131,73
5,59	486,13	414,54	491,25	463,97	218,66	153,94	110,20	160,93	80,28	91,21	220,62	130,77
5,61	483,61	412,53	488,92	461,69	218,12	152,01	108,72	159,62	78,58	89,57	220,13	129,43
5,63	480,08	411,78	481,94	457,93	216,38	151,73	106,92	158,34	79,05	89,72	218,21	128,99
5,65	478,63	407,32	473,39	453,11	216,49	150,32	105,66	157,49	78,87	88,75	216,99	128,20
5,67	475,80	405,96	471,00	450,92	215,44	150,60	103,30	156,45	77,80	88,36	215,15	127,10
5,69	472,54	404,80	469,11	448,82	215,16	148,19	102,80	155,38	77,96	87,06	213,92	126,31
5,71	471,24	401,62	464,10	445,65	213,16	147,12	101,90	154,06	77,02	84,26	211,21	124,16
5,73	465,28	399,35	460,77	441,80	213,05	146,40	100,90	153,45	76,56	83,13	210,13	123,27
5,75	463,07	398,55	455,79	439,14	211,81	145,01	99,78	152,20	76,32	82,51	209,81	122,88
5,77	461,40	396,28	450,20	435,96	211,28	143,89	96,53	150,57	75,82	82,13	209,68	122,61
5,79	458,11	394,01	446,37	432,83	209,74	144,06	96,40	150,07	74,46	80,76	209,02	121,41
5,81	454,44	391,91	442,60	429,65	209,96	143,85	95,28	149,70	74,22	80,34	209,17	121,24
5,83	452,61	389,67	437,80	426,69	207,69	141,60	93,65	147,65	73,76	79,87	207,63	120,42
5,85	450,38	387,11	435,47	424,32	206,86	141,06	92,90	146,94	73,51	79,36	206,72	119,53
5,87	445,02	384,47	433,17	420,89	206,82	139,77	91,78	146,12	71,19	78,44	205,18	118,27
5,89	443,32	383,27	430,10	418,90	204,56	137,40	90,40	144,12	71,47	77,63	202,13	117,07
5,91	438,92	380,56	426,71	415,39	203,68	136,01	90,10	143,26	70,96	76,81	199,96	115,91
5,93	436,48	378,70	424,60	413,26	201,95	135,07	89,17	142,26	71,58	75,26	197,23	114,69
5,95	433,04	376,98	423,20	411,07	199,13	134,61	87,40	140,38	70,89	75,80	195,98	114,22
5,97	430,65	374,31	419,82	408,26	196,96	132,61	87,25	138,94	69,56	74,56	194,52	112,88
5,99	427,27	373,64	414,90	405,27	195,76	132,66	84,46	137,63	68,32	75,07	194,39	112,60
6,01	424,23	371,11	412,55	402,63	193,61	132,97	85,52	137,37	69,36	73,95	192,80	112,03
6,03	422,53	368,58	408,60	399,90	193,18	131,73	84,89	136,60	68,86	73,86	192,75	111,82
6,05	418,19	366,70	405,87	396,92	192,01	131,84	83,93	135,93	68,26	73,56	192,42	111,41
6,07	402,22	364,21	402,28	389,57	189,68	116,86	83,00	129,84	66,88	73,12	189,06	109,69
6,09	405,51	363,36	397,18	388,68	188,83	116,34	81,85	129,01	66,33	72,48	186,11	108,31
6,11	404,80	361,41	395,03	387,08	184,66	114,22	80,40	126,42	66,71	72,12	182,91	107,25
6,13	401,72	359,68	389,60	383,76	183,03	113,93	79,70	125,55	65,57	72,59	181,38	106,51
6,15	400,61	358,01	386,33	381,65	180,07	114,09	78,84	124,33	64,92	71,06	178,79	104,92
6,17	399,20	356,61	383,29	379,70	175,61	112,50	78,30	122,14	64,98	71,76	174,43	103,72
6,19	397,80	354,17	379,43	377,14	173,24	112,50	77,14	120,96	64,96	70,66	165,43	100,35
6,21	395,17	352,41	378,10	375,23	171,92	110,86	77,00	119,93	63,44	70,70	161,28	98,47
6,23	392,99	349,74	374,00	372,24	171,49	111,11	76,30	119,63	63,19	70,39	161,03	98,20
6,25	392,30	348,53	372,15	371,00	170,16	111,58	74,90	118,88	63,02	70,10	158,64	97,25
6,27	390,20	347,61	368,50	368,77	168,30	110,44	74,20	117,65	62,66	69,66	156,19	96,17
6,29	388,40	344,81	366,18	366,46	166,66	109,78	74,29	116,91	61,96	69,51	153,47	94,98
6,31	387,48	342,71	363,74	364,64	165,38	109,71	72,99	116,02	61,96	70,02	145,34	92,44
6,33	385,87	341,31	360,80	362,66	166,19	109,51	71,57	115,76	60,98	68,52	107,22	78,91
6,35	384,01	339,66	358,18	360,58	164,94	107,68	72,10	114,91	61,02	68,36	118,20	82,52
6,37	381,52	336,54	356,00	358,02	164,66	107,61	70,70	114,32	60,56	67,88	121,03	83,15
6,39	379,71	336,25	353,22	356,40	163,89	107,26	70,70	113,95	59,94	67,51	120,41	82,62
6,41	378,40	333,71	351,10	354,40	165,04	105,70	69,80	113,51	60,24	68,03	118,42	82,23
6,43	375,70	332,48	349,10	352,43	163,26	104,97	69,30	112,51	58,57	67,66	116,22	80,82
6,45	373,06	330,79	346,46	350,10	162,74	105,20	68,00	111,98	58,47	66,26	114,31	79,68
6,47	370,80	327,99	344,69	347,83	161,92	105,30	68,00	111,74	57,78	67,48	114,47	79,91
6,49	369,67	326,11	342,62	346,13	161,01	104,80	66,24	110,72	57,70	66,55	112,80	79,02
6,51	367,19	325,13	340,25	344,19	161,16	103,50	64,60	109,75	57,24	66,61	113,42	79,09
6,53	366,01	323,31	337,01	342,11	161,81	102,81	63,80	109,47	56,70	66,94	111,91	78,52
6,55	363,90	323,01	336,32	341,08	161,22	101,71	63,10	108,68	56,85	65,56	111,01	77,81
6,57	361,80	320,76	333,10	338,55	160,84	102,11	61,77	108,24	55,17	65,19	109,22	76,53
6,59	360,21	318,86	329,70	336,26	160,46	100,88	61,14	107,49	55,72	64,91	106,82	75,48
6,61	358,28	317,91	328,30	334,83	161,09	100,00	61,00	107,36	52,26	64,78	105,60	74,21
6,63	355,61	317,11	326,40	333,04	161,16	100,00	60,79	107,32	52,71	63,88	102,87	73,15
6,65	355,36	317,51	324,13	332,33	161,16	99,31	58,40	106,29	50,16	63,76	101,01	71,65
6,67	352,17	315,01	320,60	329,26	160,58	98,90	59,38	106,28	49,35	63,69	99,63	70,86
6,69	351,40	314,81	318,28	328,16	161,16	98,17	59,21	106,18	48,40	62,69	97,82	69,64
6,71	349,30	312,96	315,80	326,02	159,95	96,25	58,74	104,98	48,42	63,38	97,33	69,71
6,73	347,09	312,21	312,99	324,10	159,76	96,55	56,92	104,41	47,46	62,06	95,61	68,37
6,75	346,47	310,80	310,80	322,69	159,76	95,60	57,37	104,24	48,71	62,76	94,47	68,65
6,77	345,04	308,60	307,50	320,38	159,63	94,50	56,90	103,68	48,55	61,20	93,32	67,69
6,79	343,35	306,71	306,35	318,80	159,06	94,50	56,20	103,25	48,39	61,19	87,37	65,65
6,81	342,74	304,79	302,78	316,77	158,62	92,52	55,36	102,17	46,20	60,95	85,03	64,06
6,83	340,35	303,93	297,55	313,94	158,28	93,44	55,72	102,48	46,27	60,66	84,02	63,65
6,85	336,45	302,77	295,70	311,64	157,58	93,42	54,99	102,00	46,10	59,75	84,00	63,28
6,87	334,80	301,81	292,93	309,85	156,60	92,98	53,51	101,03	46,14	59,96	80,14	62,08
6,89	333,40	299,93	291,50	308,28	156,38	92,18	53,40	100,65	45,36	58,70	78,72	60,93



6,91	332,60	298,54	289,78	306,97	156,24	91,31	52,39	99,98	46,18	57,98	77,43	60,53
6,93	331,30	297,50	288,80	305,87	155,44	89,81	52,00	99,08	45,48	58,82	78,03	60,34
6,95	330,88	295,10	287,40	304,46	153,60	88,94	51,25	97,93	44,95	58,88	78,03	59,88
6,97	329,20	294,13	286,70	303,35	150,87	89,09	49,74	96,57	44,86	57,98	74,14	58,92
6,99	328,61	292,81	283,76	301,72	136,91	87,98	49,20	91,36	44,89	57,80	73,93	58,87
7,01	326,06	290,11	282,41	299,53	127,09	87,50	48,69	87,76	44,86	57,14	72,83	58,14
7,03	325,80	288,26	281,76	298,61	117,10	86,90	49,20	84,40	43,87	56,88	73,90	58,15
7,05	322,33	285,14	280,08	295,85	113,58	85,98	48,19	82,58	43,26	55,91	72,83	57,23
7,07	321,61	282,14	279,48	294,41	109,16	85,99	47,57	80,90	42,56	55,60	71,82	56,66
7,09	321,61	279,71	277,71	293,01	106,64	84,11	47,85	79,53	43,04	55,93	71,99	56,99
7,11	319,99	276,91	275,60	290,83	103,15	84,81	45,51	77,82	42,49	55,18	71,82	56,49
7,13	318,35	275,52	274,63	289,50	100,73	84,42	46,77	77,31	42,13	53,89	70,65	55,56
7,15	317,04	273,81	273,36	288,07	98,76	83,65	46,33	76,25	41,86	53,95	71,60	55,80
7,17	315,78	272,35	271,50	286,54	96,76	83,40	45,19	75,12	41,73	53,56	69,78	55,02
7,19	313,85	271,34	269,85	285,01	93,03	82,71	45,10	73,61	41,12	53,33	69,72	54,73
7,21	311,99	270,71	268,70	283,80	90,50	82,35	44,79	72,55	40,14	52,93	68,05	53,71
7,23	312,26	270,01	267,69	283,32	90,34	81,39	44,04	71,92	39,76	52,38	68,32	52,81
7,25	310,71	268,44	265,27	281,48	88,78	82,67	43,00	71,49	40,46	52,81	64,31	52,52
7,27	310,09	266,51	264,50	280,36	88,16	80,89	43,58	70,87	39,16	52,37	64,42	51,98
7,29	308,07	265,32	263,31	278,90	87,60	80,88	42,09	70,12	39,37	51,68	62,83	51,28
7,31	307,38	263,71	262,79	277,96	86,99	80,10	42,30	63,13	39,16	52,28	62,20	51,21
7,33	306,67	262,18	260,78	276,54	77,35	80,32	41,01	66,23	38,46	52,04	61,42	50,74
7,35	304,31	261,29	260,40	272,00	82,11	79,66	40,46	67,41	39,31	52,31	60,72	50,68
7,37	302,35	253,01	259,14	271,50	82,81	79,74	40,60	67,72	38,90	50,82	60,34	50,02
7,39	302,52	252,59	257,60	270,90	83,94	78,50	40,18	67,54	37,29	50,91	60,03	49,41
7,41	301,30	252,78	258,12	270,73	82,16	77,07	40,11	66,44	38,46	49,63	58,85	48,98
7,43	300,79	245,61	256,27	267,52	81,02	76,85	38,86	65,58	37,95	50,21	58,02	48,72
7,45	299,89	245,51	254,99	266,80	81,26	77,38	38,20	65,61	38,21	49,56	57,16	48,31
7,47	298,57	247,22	254,10	266,63	80,76	77,21	37,55	65,17	37,45	49,39	55,55	47,46
7,49	296,81	247,08	252,25	265,38	80,63	78,11	37,50	64,75	35,79	48,45	55,74	46,66
7,51	296,01	245,75	251,34	264,37	78,66	75,36	37,62	63,88	32,86	48,58	55,59	45,68
7,53	295,57	244,31	249,43	263,10	77,96	73,48	36,71	62,72	34,26	48,01	54,53	45,60
7,55	294,61	243,77	248,61	262,33	75,85	72,31	36,10	61,42	33,55	47,58	54,60	45,24
7,57	294,47	242,89	247,47	261,61	75,58	72,40	35,64	61,20	33,49	47,56	54,67	45,24
7,59	292,51	241,34	246,32	260,06	74,44	71,28	35,40	60,37	32,08	47,19	54,70	44,66
7,61	291,35	239,95	244,74	258,68	72,68	69,50	34,70	58,95	31,71	46,16	53,83	43,90
7,63	290,92	238,81	243,70	257,81	72,23	69,44	34,00	58,56	32,73	45,95	54,48	44,39
7,65	289,11	238,14	242,09	256,45	71,06	67,48	33,34	57,29	31,79	45,46	53,07	43,44
7,67	287,57	238,36	240,30	255,41	70,38	66,99	33,10	56,82	30,79	45,25	53,50	43,18
7,69	285,72	236,01	239,63	253,79	69,65	67,37	32,60	56,54	30,84	45,18	52,42	42,81
7,71	285,37	235,73	239,14	253,41	69,09	66,81	31,90	55,93	30,76	45,42	53,06	43,08
7,73	282,89	234,05	238,20	251,71	68,27	66,11	32,53	55,63	29,98	46,03	51,72	42,58
7,75	281,70	233,91	236,60	250,74	67,77	64,24	31,90	54,54	29,66	44,40	51,72	41,93
7,77	281,40	232,31	235,57	249,76	67,33	63,34	31,78	54,15	29,47	43,94	51,14	41,52
7,79	280,17	231,21	235,66	249,01	66,73	63,70	30,64	53,69	28,90	43,36	51,72	41,33
7,81	279,44	230,06	235,11	248,20	66,92	64,25	30,13	53,77	28,97	43,04	51,03	41,01
7,83	279,34	229,45	234,52	247,77	64,29	63,83	29,80	52,64	29,22	42,58	51,03	40,93
7,85	279,03	228,86	233,33	247,01	64,51	62,60	28,50	51,87	28,06	42,68	51,68	40,80
7,87	278,02	228,47	232,60	246,36	64,07	61,90	29,10	51,69	28,66	42,00	51,03	39,89
7,89	277,90	227,57	231,21	245,56	62,84	61,69	29,10	51,21	28,06	42,21	37,69	35,99
7,91	277,30	226,44	230,60	244,78	61,59	61,21	27,14	49,98	28,87	42,32	45,20	38,13
7,93	275,90	225,05	228,71	243,22	61,17	60,34	27,80	49,77	26,09	41,41	47,63	38,37
7,95	275,20	222,82	229,05	242,36	59,59	59,43	28,25	49,09	26,50	41,13	47,84	38,49
7,97	274,27	222,89	226,96	241,37	59,42	59,56	26,58	48,52	26,11	41,45	47,90	38,48
7,99	273,43	222,46	226,40	240,76	58,53	59,05	27,01	48,20	25,83	41,26	48,29	38,46
8,01	273,11	222,73	224,76	240,20	56,78	57,10	26,91	46,93	25,26	39,98	46,92	37,39
8,03	271,63	220,74	223,97	238,78	56,56	56,44	26,40	46,47	24,86	40,84	47,31	37,67
8,05	272,04	220,38	224,14	238,85	55,24	55,08	26,03	45,45	24,19	40,22	46,74	37,05
8,07	271,96	219,22	222,90	238,03	54,90	53,64	25,08	44,54	25,26	40,09	47,51	37,62
8,09	270,55	217,31	222,30	236,72	53,76	53,79	25,57	44,37	22,67	39,28	46,22	36,06
8,11	269,84	216,39	221,15	235,79	54,34	52,90	24,75	44,00	23,16	39,14	46,59	36,30
8,13	269,70	214,38	220,73	234,94	52,36	52,90	23,60	42,95	22,25	38,87	44,53	35,22
8,15	269,27	214,37	220,07	234,57	51,98	52,90	23,60	42,83	23,72	38,73	46,21	36,22
8,17	268,32	212,43	218,39	233,05	50,26	52,90	23,60	42,25	21,99	37,86	45,22	35,02
8,19	268,23	212,65	217,91	232,93	49,53	51,66	23,90	41,70	21,89	38,14	44,83	34,95
8,21	266,90	210,14	216,00	231,02	48,84	50,98	22,94	40,92	21,52	37,86	44,76	34,71
8,23	266,20	209,71	216,53	230,81	47,53	50,62	22,90	40,35	21,06	37,27	44,70	34,34
8,25	264,81	210,41	215,68	230,30	46,93	50,44	22,55	39,98	20,02	37,19	45,53	34,25
8,27	265,51	209,71	215,09	230,10	46,16	49,11	22,20	39,16	19,90	37,31	43,42	33,55
8,29	265,28	209,42	213,90	229,53	45,89	45,43	21,58	37,63	19,83	36,46	43,42	33,24
8,31	264,11	208,31	212,80	228,40	44,31	45,57	21,27	37,05	19,18	35,85	43,10	32,71
8,33	264,10	208,31	213,20	228,54	45,33	48,44	20,51	37,43	11,67	36,46	42,40	30,17
8,35	262,39	207,97	211,34	227,24	44,06	48,01	16,43	35,50				
8,37	262,27	206,02	211,90	226,73								



8,39	261,89	206,21	212,60	226,90
8,41	260,84	204,99	210,76	225,53
8,43	260,22	204,82	209,80	224,98
8,45	260,70	202,80	210,50	224,67
8,47	259,95	203,38	209,34	224,22
8,49	260,30	200,95	209,10	223,45
8,51	258,61	200,60	208,45	222,55
8,53	258,38	200,58	209,44	222,80
8,55	258,44	198,73	207,18	221,45
8,57	257,20	197,80	207,23	220,68
8,59	257,20	197,55	206,80	220,52
8,61	257,20	196,70	206,15	220,02
8,63	256,51	195,11	206,01	219,21
8,65	256,51	194,41	204,29	218,40
8,67	255,61	191,98	203,60	217,06
8,69	255,12	190,95	204,12	216,73
8,71	256,15	189,02	203,81	216,32
8,73	255,22	187,81	202,92	215,25
8,75	254,68	187,36	202,80	214,95
8,77	253,79	188,88	202,35	215,01
8,79	254,40	185,41	202,78	214,19
8,81	253,78	184,35	201,60	213,24
8,83	254,26	183,35	201,98	213,20
8,85	253,62	182,71	201,19	212,51
8,87	253,46	182,01	199,68	211,71
8,89	252,30	180,79	200,10	211,07
8,91	251,60	180,73	199,93	210,76
8,93	251,80	179,60	198,00	209,80
8,95	250,48	179,21	198,70	209,46
8,97	249,60	178,38	198,00	208,66
8,99	247,56	177,11	197,84	207,50
9,01	246,97	176,02	198,10	207,03
9,03	246,18	175,71	196,81	206,17
9,05	247,06	176,41	197,21	206,89
9,07	246,77	175,10	195,90	205,92
9,09	245,86	174,31	195,90	205,36
9,11	245,79	174,21	194,50	204,83
9,13	245,48	173,62	195,67	204,92
9,15	244,71	174,26	195,20	204,72
9,17	244,43	173,01	195,05	204,17
9,19	244,28	172,74	193,80	203,60
9,21	244,13	171,62	193,69	203,15
9,23	243,46	172,84	192,77	203,02
9,25	244,48	171,91	193,31	203,24
9,27	243,30	171,61	193,67	202,86
9,29	243,27	170,99	193,60	202,62
9,31	242,74	170,91	192,50	202,05
9,33	241,81	170,21	191,88	201,30
9,35	242,86	169,23	191,93	201,34
9,37	242,10	169,37	191,80	201,09
9,39	241,90	168,29	191,34	200,51
9,41	242,32	168,29	191,72	200,77
9,43	242,89	166,40	191,10	200,13
9,45	241,92	167,86	190,81	200,20
9,47	241,90	166,71	189,92	199,51
9,49	241,21	165,38	191,74	199,44
9,51	241,21	165,31	190,00	198,84
9,53	240,79	165,79	188,61	198,40
9,55	240,60	164,20	188,98	197,93
9,57	240,46	163,43	188,50	197,47
9,59	240,43	162,62	188,57	197,21
9,61	239,43	160,79	188,44	196,22
9,63	239,90	160,66	189,00	196,59
9,65	239,21	161,77	187,83	196,27
9,67	239,84	159,65	187,69	195,79
9,69	240,07	160,22	187,60	195,96
9,71	239,21	159,11	187,60	195,30
9,73	240,06	159,70	187,44	195,73
9,75	239,90	158,90	185,96	194,92
9,77	239,21	158,05	186,20	194,49
9,79	239,37	157,85	185,94	194,39
9,81	237,83	158,40	185,23	193,82
9,83	238,34	157,96	184,37	193,52
9,85	237,75	158,14	184,79	193,56

9,87	237,80	158,71	184,23	193,58
9,89	237,10	158,30	184,10	193,17
9,91	237,80	157,94	183,69	193,14
9,93	237,88	157,29	184,79	193,32
9,95	237,58	156,99	183,50	192,69
9,97	236,40	157,66	183,77	192,61
9,99	236,67	157,01	182,17	191,95
10,01	236,40	156,60	183,49	192,16
10,03	235,57	155,61	182,37	191,18
10,05	236,24	154,91	182,37	191,17
10,07	235,23	155,90	181,98	191,04
10,09	235,01	155,41	181,40	190,60
10,11	235,01	153,63	181,37	190,00
10,13	235,15	153,82	181,75	190,24
10,15	234,30	153,22	180,74	189,42
10,17	236,15	152,76	181,97	190,29
10,19	234,91	153,03	181,00	189,65
10,21	234,17	152,91	181,15	189,41
10,23	234,89	152,40	180,70	189,33
10,25	234,19	152,80	180,70	189,23
10,27	234,30	152,36	180,28	188,98
10,29	233,30	151,51	180,00	188,27
10,31	233,23	151,30	180,03	188,19
10,33	234,28	151,56	180,00	188,61
10,35	233,02	152,60	178,52	188,08
10,37	233,71	151,41	179,34	188,15
10,39	232,35	150,94	178,60	187,30
10,41	234,16	150,81	179,02	187,99
10,43	233,14	150,38	179,16	187,56
10,45	233,68	150,47	179,21	187,79
10,47	232,90	149,44	178,83	187,06
10,49	232,21	150,05	179,00	187,08
10,51	232,73	150,11	178,33	187,05
10,53	232,43	149,60	177,96	186,66
10,55	232,36	148,59	177,36	186,11
10,57	233,35	148,01	177,20	186,19
10,59	232,21	147,31	177,37	185,63
10,61	233,32	148,01	177,90	186,41
10,63	232,89	147,31	177,03	185,74
10,65	231,67	147,15	177,32	185,38
10,67	231,88	145,91	176,49	184,76
10,69	231,72	145,39	177,20	184,77
10,71	230,92	145,31	175,80	184,01
10,73	232,21	144,73	175,80	184,24
10,75	231,51	145,21	177,19	184,63
10,77	231,51	144,48	175,34	183,77
10,79	230,92	144,54	175,40	183,62
10,81	231,51	144,22	175,18	183,63
10,83	231,00	144,26	175,80	183,69
10,85	230,90	144,46	174,83	183,40
10,87	230,74	143,58	174,57	182,96
10,89	230,43	142,51	175,10	182,68
10,91	230,90	141,57	174,83	182,43
10,93	230,25	143,06	174,40	182,57
10,95	231,40	141,99	174,25	182,55
10,97	230,90	141,06	174,36	182,11
10,99	230,67	141,11	174,29	182,02
11,01	230,21	141,66	173,41	181,76
11,03	230,07	140,93	173,34	181,44
11,05	229,78	140,10	173,72	181,20
11,07	228,44	140,53	173,10	180,69
11,09	230,21	140,27	173,38	181,29
11,11	229,91	140,05	172,97	180,98
11,13	229,51	140,14	173,09	180,91
11,15	229,51	139,71	172,40	180,54
11,17	228,80	139,59	173,10	180,50
11,19	229,64	139,41	174,28	181,11
11,21	229,62	139,01	171,89	180,17
11,23	230,02	138,30	172,13	180,15
11,25	228,55	138,72	172,24	179,84
11,27	229,21	137,94	172,61	179,92
11,29	228,80	138,96	172,40	180,05
11,31	228,80	137,64	172,50	179,65
11,33	229,18	138,19	171,41	179,60

11,35	229,27	136,91	171,00	179,06
11,37	228,80	137,72	171,16	179,23
11,39	228,33	137,81	172,16	179,43
11,41	228,54	137,61	171,70	179,28
11,43	228,53	137,21	171,82	179,19
11,45	227,40	137,60	170,83	178,61
11,47	228,13	138,00	171,70	178,61
11,49	228,15	136,91	170,98	178,68
11,51	227,86	137,34	170,48	178,56
11,53	228,79	137,40	171,00	179,06
11,55	227,84	135,93	171,93	178,57
11,57	228,10	136,49	171,68	178,76
11,59	226,77	136,21	171,95	178,31
11,61	228,10	136,24	172,40	178,91
11,63	228,10	135,16	171,70	178,32
11,65	227,82	136,33	171,01	178,39
11,67	227,98	135,51	172,13	178,54
11,69	227,72	135,34	171,28	178,12
11,71	227,89	135,09	172,40	178,46
11,73	227,93	136,55	171,00	178,49
11,75	228,04	135,46	171,92	178,47
11,77	227,27	134,81	172,02	178,03
11,79	227,01	134,90	172,34	178,08
11,81	227,40	134,94	171,70	178,01
11,83	227,40	134,32	171,05	177,59
11,85	226,57	135,00	171,70	177,76
11,87	226,28	133,83	171,61	177,24
11,89	226,01	132,81	171,70	176,84
11,91	226,01	129,45	171,70	175,72
11,93	226,01	130,03	170,89	175,64
11,95	226,30	130,96	171,00	176,09
11,97	226,01	130,71	170,41	175,71
11,99	225,30	130,81	171,33	175,82
12,01	226,01	131,32	170,96	176,09
12,03	225,30	131,68	170,78	175,89
12,05	226,42	133,51	170,57	176,83
12,07	225,54	131,98	170,85	176,12
12,09	224,99	133,16	171,00	176,38
12,11	225,16	133,51	171,00	176,56
12,13	224,69	134,15	170,01	176,28
12,15	225,30	134,21	170,84	176,78
12,17	224,60	133,71	170,96	176,42
12,19	224,60	134,21	171,56	176,79
12,21	225,06	134,38	171,46	176,96
12,23	225,30	134,59	171,00	176,96
12,25	224,88	133,51	171,58	176,65
12,27	224,60	134,80	170,49	176,63
12,29	224,53	133,78	171,42	176,58
12,31	224,54	134,81	171,00	176,78
12,33	224,38	134,59	171,15	176,71