

SENZOR VIŠINE GLADINE S PREPLETENIMA OPTIČNIMA VLAKNOMA

A. Suhadolnik, M. Črnigoj, J. Možina

KLJUČNE BESEDE: optična vlakna, optični senzor, senzorji nivoja tekočin, merjenje nivoja tekočin, merjenje lomnega količnika, tekočinski film, absorpcija, eksperimentalne raziskave

POVZETEK: Izdelali smo nov tip senzorja za zvezno merjenje višine gladine na osnovi prestopa svetlobe med dvema optičnima vlaknoma. Vlaknoma, ki sta medsebojno prepletена, je v senzorskem delu odstranjen plašč. V članku je opisana sestava senzorja, podani so rezultati merjenja višine gladine in lomnega količnika tekočin. Prikazani so vplivi absorpcije in omočenja senzorja z merjeno tekočino.

TWISTED OPTICAL FIBER LIQUID LEVEL SENSOR

KEY WORDS: optical fibers, optical sensors, liquid level sensors, liquid level measurement, refractive index measurement, liquid film, absorption, experimental research

ABSTRACT: A new type of the optical fiber continuous liquid level sensor was made. The basic principle is light transmission between input and output fiber, which are stripped and twisted together. In this contribution, sensor structure, liquid level measurements and refractive index measurements are described. The effect of wetting and the liquid absorption influence on the sensor response are also investigated.

1. UVOD

Določanje višine gladine kapljev in sodi med osnovne meritve v procesni tehniki. S to problematiko je povezanih več senzorjev, ki delujejo na različnih principih. Že v petdesetih letih so razvili točkovni senzor nivoja, ki je deloval na principu prehoda svetlobe skozi stekleno cev in totalnega odboja na prizmatično ošiljeni konici (1). Z razvojem tehnologije izdelave optičnih vlaken je prišlo do izboljšav tovrstnih senzorjev (2,3). Pozneje so uporabljali za določevanje nivoja gladine tudi senzor z zavrtim vlaknom v obliki U-profila (4). Našteti senzorji merijo nivo gladine le v eni točki. Merjenje zveznega nivoja gladine omogoča efekt slabljenja svetlobe v vlaknu pri zvijanju v kombinaciji s plovcem (5). Razvit je bil tudi radarski sistem detekcije višine gladine s pomočjo optičnih vlaken (6). Za zvezno določanje višine gladine tekočine je možno uporabiti pojav diferencialne absorpcije svetlobe dveh valovnih dolžin v absorpcijskem mediju (7,8). Isto omogoča tudi fluorescenčno vlakno, ki lovi sevano svetlobo iz svetilke izven posode z vodo (9). Digitalno določevanje višine gladine je izvedeno z dvema vlaknoma in zrcalnimi ploščicami med njima (10). Ena izmed možnosti za zvezno določanje višine gladine je senzor, ki deluje na osnovi prehoda svetlobe iz enega vlakna v drugo (11).

Večina senzorjev z optičnimi vlakni za merjenje višine gladine imajo to slabo lastnost, da je njihovo delovanje omejeno z vrsto medija, katerega merijo. Tako so absorpcijski senzorji odvisni od absorpcije tekočine v kateri se nahajajo. Senzorji na osnovi prehoda svetlobe iz

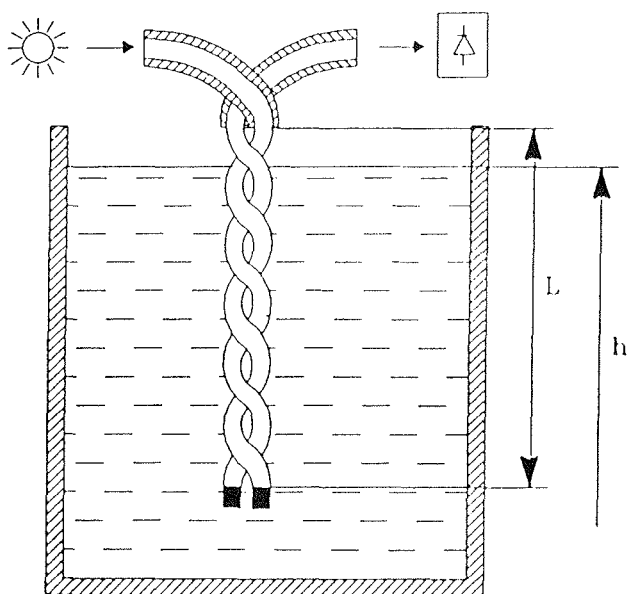
enega vlakna na drugo so omejeni z lomnim količnikom merjene snovi. Velik problem pri potopnih senzorjih je tudi njihova omočljivost in nečistost merjene snovi. Pomanjkljivost fluorescenčnih senzorjev je velik vpliv dodatne motilne zunanje svetlobe in nelinearnen odziv senzorja.

V tem prispevku je opisan nov tip senzorja za zvezno meritev višine gladine na osnovi prestopa svetlobe med dvema vlaknoma, ki sta medsebojno prepleteni. V nadaljevanju so razloženi princip delovanja in rezultati eksperimentov z različnimi verzijami senzorja.

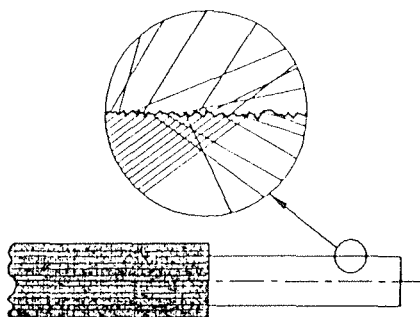
2. PRINCIP DELOVANJA

Senzor višine gladine je sestavljen iz dveh tesno prepletenih večrodovnih vlaken s koračnim profilom lomnega količnika (slika 1). Premer jedra uporabljenega vlakna iz plastične mase (PMMA-poli metil meta akrilat) je 1 mm.

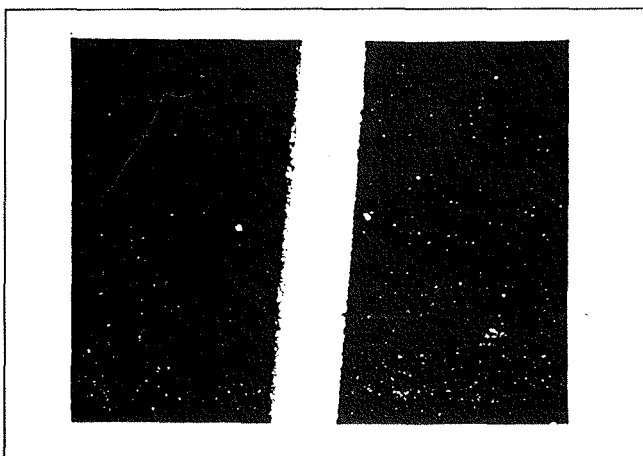
Vlaknoma v senzorski konici je odstranjen plašč tako, da lahko medij pride v neposredni kontakt s površino senzorja. Svetloba vstopa v prvo vlakno in potuje po oplaščenem delu vlakna do senzorske konice. Na prepletenem delu, kjer je plašč odstranjen, svetloba izstopa iz prvega vlakna in se delno ujame v drugo vlakno. Svetlobna moč, ki na enoto dolžine prehaja iz prvega v drugo vlakno, je odvisna od razmerja dolžin omočenega in neomočenega dela obeh vlaken. Zato je pojav prestopa svetlobe možno uporabiti kot osnovo za senzor višine gladine. Poskusi pa so pokazali, da je senzor, pri



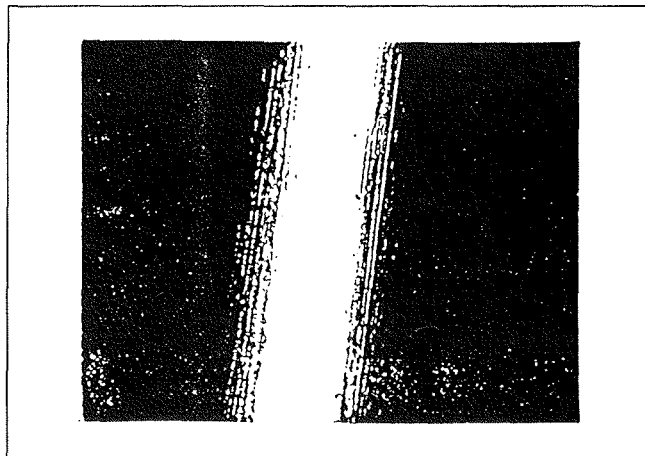
Slika 1: Senzor za merjenje višine gladine



Slika 2: Lom svetlobe na poškodovani površini.



Slika 3a: Nepoškodovano optično vlakno



Slika 3b: Poškodovano optično vlakno

katerem smo vstopnemu vlaknu zgolj odstranili plašč, dokaj neobčutljiv na spremembo višine gladine. Zaradi tega smo vstopnemu vlaknu namerno enakomerno poškodovali površino in s tem močno povečali izstop svetlobe po obodu. Slika 2 prikazuje lom svetlobe na poškodovani površini.

Povečana fotografija prečno presevanega vlakna pred poškodbo (slika 3a) in po poškodbi (slika 3b) nazorno prikaže povečanje sipanja presevane svetlobe.

Izdelali smo več senzorjev z različno stopnjo umetno povzročenih poškodb. Na ta način se je bistveno povečala občutljivost na spremembo višine gladine.

Prestop svetlobe na dolžinsko enoto iz prvega vlakna lahko opišemo z enačbo,

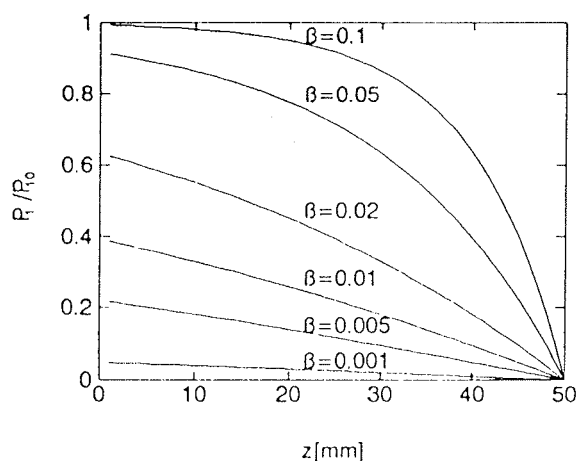
$$\frac{dP_1(z)}{dz} = P_{10}\beta(z)e^{-\beta(z)z} \quad (1)$$

kjer je P_{10} moč svetlobe v vlaknu na vstopu v senzorski del, P_1 moč v prvem vlaknu, $\beta(z)$ koeficient slabljenja in z koordinata vzdolž osi vlakna. Celotna moč svetlobe, ki vstopa v drugo vlakno, je enaka:

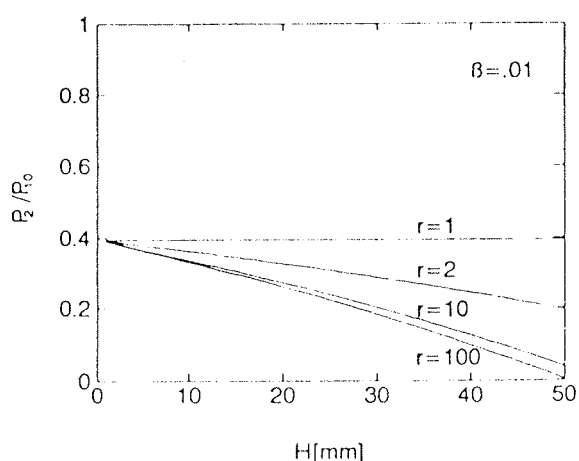
$$P_2 = \int_0^L \gamma(z) dP_1(z) \quad (2)$$

pri čemer je $\gamma(z)$ prestopnostni koeficient, L pa efektivna dolžina senzora. Koeficient slabljenja $\beta(z)$ je odvisen od poškodb na izstopnem vlaknu, prestopnostni koeficient $\gamma(z)$ pa od absorpcije svetlobe v mediju, razdalje med vlakni, omočenja in lomnega količnika medija ter lomnega količnika vlakna. Z združitvijo obeh enačb in upoštevanjem različne prestopnosti med potopljenim in nepotopljenim delom vlakna, razpade integral (2) na dva dela:

$$P_2(h) = \int_0^{L-h} \gamma_g(z) P_{10}\beta(z) e^{-\beta(z)z} dz + \int_{L-h}^L \gamma_1(z) P_{10}\beta(z) e^{-\beta(z)z} dz \quad (3)$$



Slika 4: Teoretični odziv pri spreminjanju faktorja slabljenja β



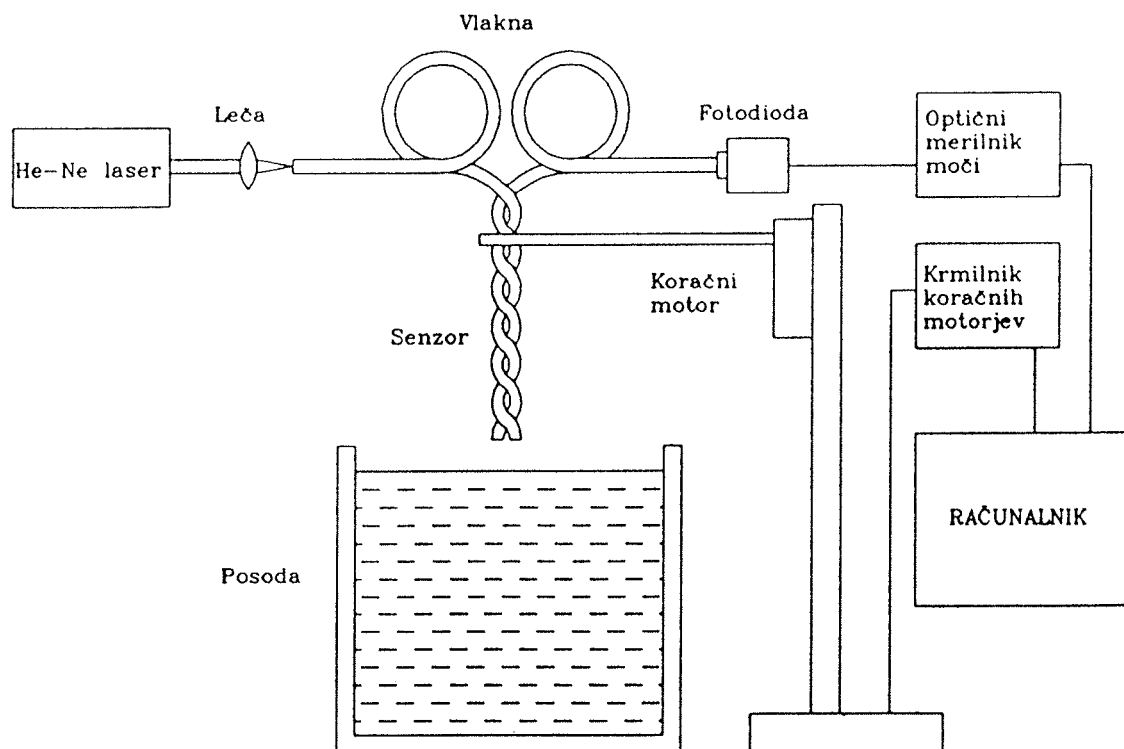
Slika 5: Teoretični odziv pri spreminjanju slabljenja razmerja faktorja prestopnosti r

kjer sta $\gamma_g(z)$ in $\gamma_l(z)$ prestopnostna koeficienta na nepotopljenem in potopljenem delu sensorja in h višina gladine. Koeficient slabljenja $\beta(z)$ in prestopnostna koeficienta $\gamma_g(z)$, $\gamma_l(z)$, lahko določimo eksperimentalno. V splošnem so koeficienti odvisni od spremenljivke z , v izračunih pa smo privzeli koeficiente kot konstante; $\beta(z) = \beta$, $\gamma_g(z) = \gamma_g$, $\gamma_l(z) = \gamma_l$. Slika 4 prikazuje izračun izstopne moči svetlobe iz prvega vlakna $P_1(z)$ pri spreminjanju koeficienta slabljenja β in slika 5 celotno moč $P_2(h)$ pri upoštevanju različne stopnje prestopnosti, kjer faktor r označuje razmerje $r = \gamma_g/\gamma_l$. V izračunu smo privzeli, da vsa svetloba izstopi iz prvega vlakna in prestopi v drugo. V realnih razmerah seva prvo vlakno le del svetlobe na vse strani, v drugo vlakno pa prestopi manjši del sevane svetlobe iz prvega vlakna. Dolžina sensorja v izračunu je $L = 50$ mm.

3. EKSPERIMENTALNI SISTEM

Dviganje nivoja tekočine smo simulirali z dviganjem in spuščanjem sensorja v posodo, napolnjeno s tekočino, kar prikazuje slika 6.

Za svetlobni izvor smo uporabili HeNe laser. Svetlobo, ki prestopi na izstopno vlakno, smo detektirali s Si fotodiodo in optičnim merilnikom moči (Anritsu ML910B). Senzor je vertikalno pomikal koračni motor (ISEL), ki je bil prek krmilnika in RS232C vmesnika upravljan z računalnikom. Podatki so iz merilnika optične moči prihajali v računalnik prek IEEE488 vmesnika. Konce vlaken, katerim smo predhodno odstranili plašč, smo medsebojno prepletli in njihove konice prevlekli s črno plastiko kot zaščito proti nezaželenemu izstopu svetlobe na konicah vlaken, kar preprečuje ne-



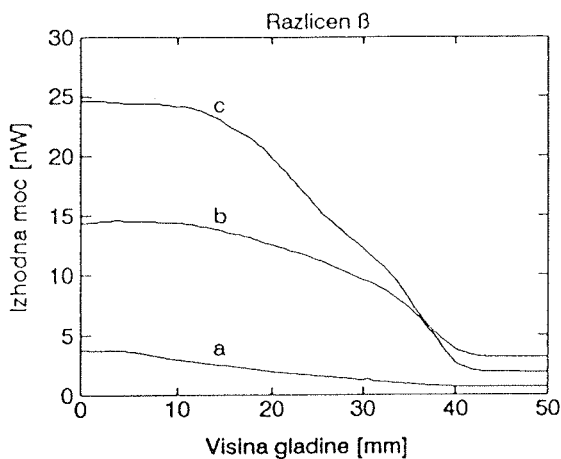
Slika 6: Eksperimentalni sistem

želene odboje svetlobe na dnu posode. Meritve smo izvajali v zatemnjenem prostoru, da zunanja svetloba ni motila poteka meritev.

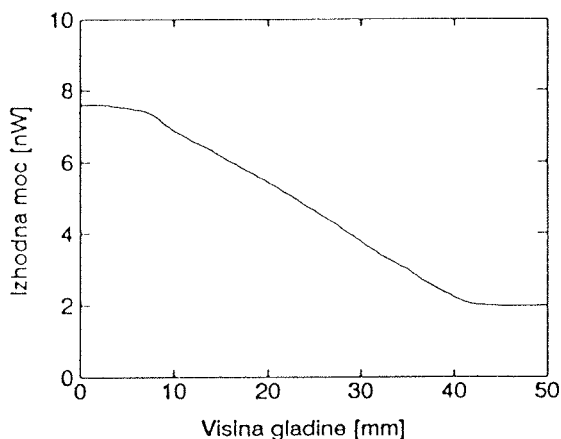
4. MERITVE

S prvimi meritvami smo ugotavljali občutljivost senzorja na različno stopnjo površinskih poškodb vstopnega vlakna. V ta namen smo postopno povečevali hrapavost na površini vstopnega vlakna. Pri izdelavi senzorja mora biti površina enakomerno poškodovana po vsej dolžini, ker posamezne globoke zarezke v površini prinesejo močne nelinearnosti v odzivu. Slika 7 prikazuje tri meritve odziva senzorja z efektivno dolžino 35 mm pri povečevanju stopnje poškodb, oz. faktorja slabljenja. Krivulja a predstavlja vlakno z najmanjšo stopnjo poškodb, c pa z največjo. Na osnovi odzivov s slike 7 smo izdelali senzor, ki je dal po vsej svoji dolžini linearen odziv (slika 8).

Pri potopnih senzorjih za merjenje višine gladine je potrebno posebno pozornost nameniti omočenju senzorja. Pri dvigovanju senzorja iz tekočine ostane na



Slika 7: Odziv senzorjev pri različni stopnji poškodb vstopnega vlakna

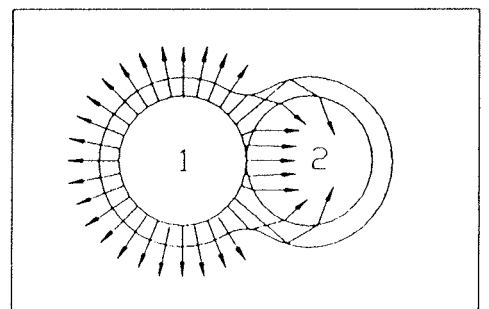
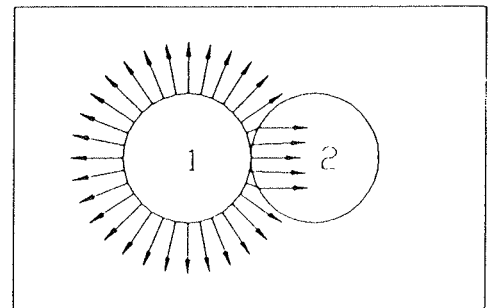


Slika 8: Odziv senzorja

površini senzorja tanka plast tekočine, ki deluje kot sekundarna obloga vlakna. Na meji med tekočinskim filmom in zunanjim medijem pride do totalnega odboja, ki žarke dodatno usmerja na drugo vlakno (slika 9).

Suh senzor ima bistveno nižji začetni prestop svetlobe iz vstopnega na izstopno vlakno kot omočen. Po omočenju se med ovoji obeh vlaken zadržuje vodna plast, ki poveča prestop svetlobe med vlaknoma. Z ustrezno izbiro števila ovojev postane vodna plast dokaj obstojna, kar je prikazano v nadaljevanju tega dela. Histerezni pojav je razviden iz slike 10, kjer smo uporabili senzor efektivne dolžine 50 mm. Krivulja a predstavlja meritve globine ob prvi potopitvi.

Dvig senzorja je prikazan s krivuljo b, krivulja c pa predstavlja ponovno potopitev senzorja. Pri nadaljnjem potapljanju in dvigovanju senzorja histerezni pojav ne vpliva bistveno na odziv senzorja, če časovna zakasnitev med potapljanjem in dvigovanjem ni predolga in ne prekratka. Časovno odvisnost histereze prikazuje slika 11.

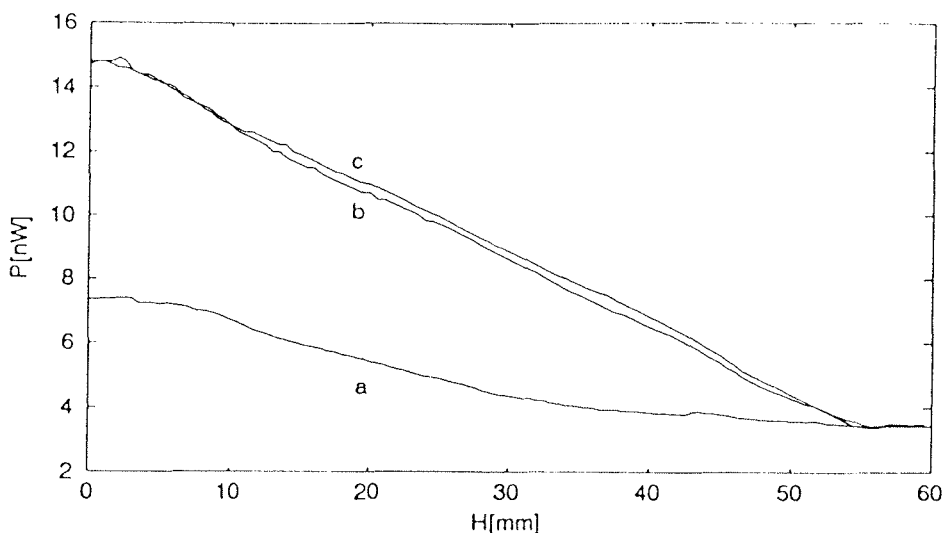


Slika 9: Vpliv tekočinskega filma na prestop svetlobe

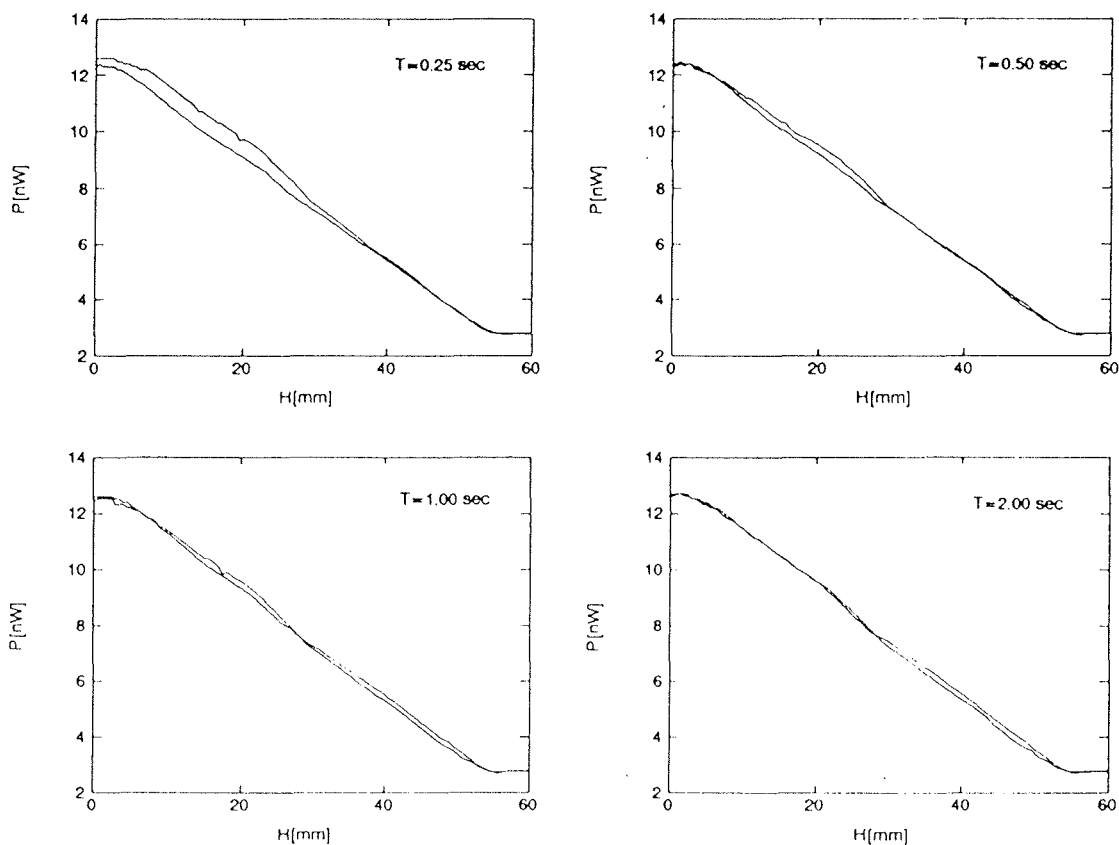
Spreminjali smo čas čakanja med posameznimi koraki koračnega motorja pri spuščanju in dvigovanju. Čas čakanja smo povečevali od 0.25 s do 2.0 s. Pri zelo hitrih spremembah pride do pojava histereze, ker se sistem ne umiri dovolj. Po času, ki je večji od ene sekunde, pa deluje sistem zadovoljivo. Naslednji problem, ki lahko negativno vpliva na odziv sensorja, je dolgotrajno sušenje sensorja. S pravilno izbiro števila ovojev smo

dosegli časovno stabilnost sensorja po omočenju in kasnejši sušitvi na zraku (slika 12).

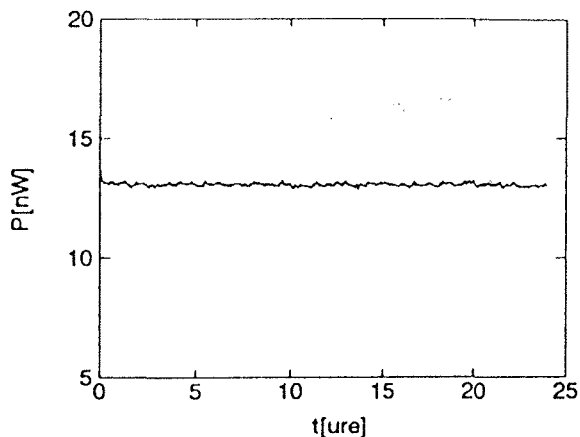
Vpliv števila ovojev na odziv prikazuje slika 13. Povečevanje števila ovojev ima podoben efekt kot stopnja poškodbe vlakna, saj se z naraščanjem ovojev zmanjšuje radij ukrivljenosti, kar povzroči močnejše sevanje svetlobe iz dovodnega vlakna, oz. večanje faktorja slabljenja β . Večje število ovojev zagotavlja boljši stik med



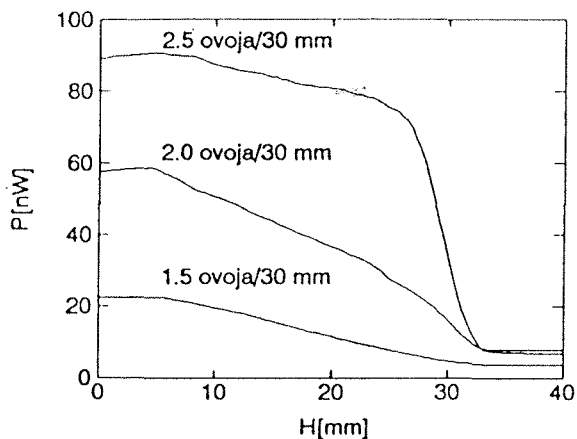
Slika 10: Histerezni pojav pri odzivu suhega (krivulja a) in omočenega sensorja (krivulja b, c)



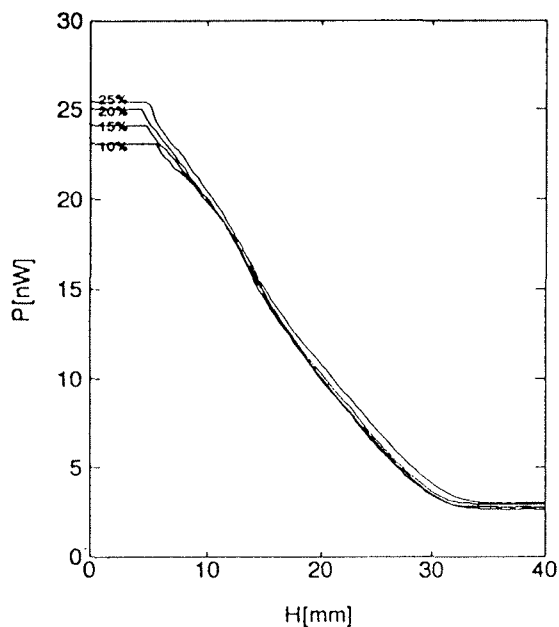
Slika 11: Spreminjanje histereze v odvisnosti od hitrosti spremembe višine gladine



Slika 12: Časovna stabilnost izhodne moči svetlobe pri sušenju omočenega sensorja



Slika 13: Vpliv števila ovojev na odziv sensorja



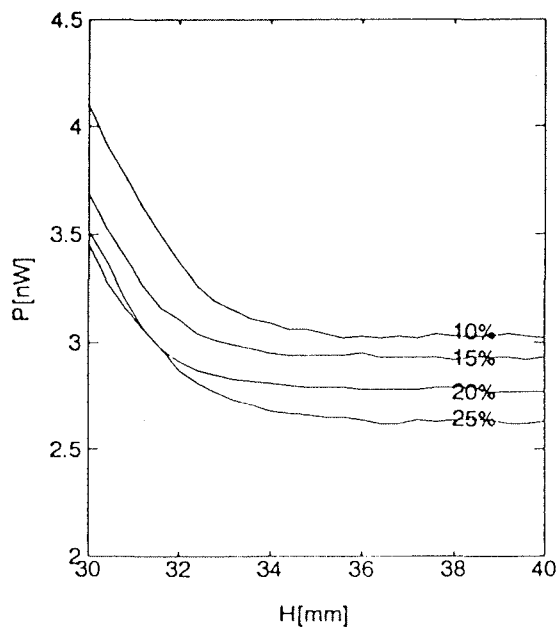
vlakni in hkrati večjo stabilnost vmesnega tekočinskega filma.

Poleg višine gladine je mogoče s tovrstnim sensorjem meriti tudi lomni količnik, oz. koncentracijo raztopin (12). V ta namen smo potopili senzor v različne vodne raztopine, ki smo jim predhodno izmerili lomne količnike z Abbejevim refraktometrom. Slika 14 prikazuje odzive pri dvigovanju sensorja iz raztopin, katerim smo spreminjali koncentracijo, oz. lomni količnik. Docela potopljen senzor ima pri večjem lomnem količniku manjši intenzitetni odziv, povsem izvlečen in omočen senzor pa ima pri večjem lomnem količniku višji odziv.

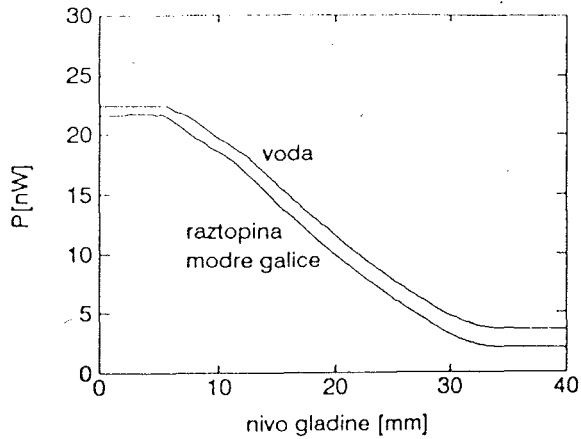
Torej se naklon krivulje z lomnim količnikom spreminja. Če vodi dodamo močno absorptivno sredstvo (modra galica), se zaradi absorpcije celotna krivulja premakne navzdol po vertikalni osi (slika 15). Povsem potopljen senzor v mediju lahko služi za merjenje lomnih količnikov tekočin, pri čemer moramo upoštevati absorpcijo. Slika 16 prikazuje odvisnost izstopne moči potopljenega sensorja od lomnega količnika sredstva. Med serijo meritev LiBr in NaCl je nastala razlika (dve premici), ki je lahko posledica onesnaženja površine sensorja, adsorpcije delcev na površino ali spremembe absorpcije svetlobe v mediju.

5. ZAKLJUČEK

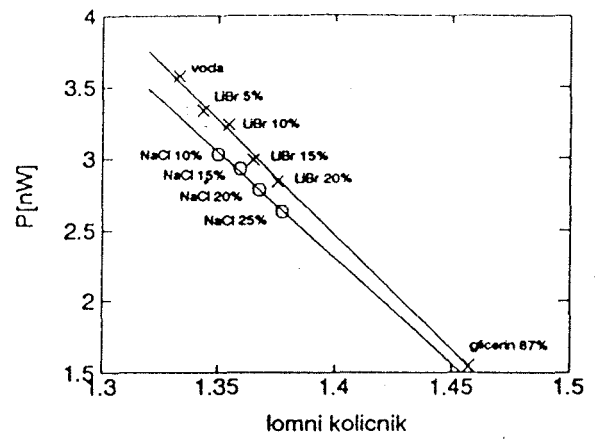
V tem delu smo prikazali senzor za merjenje nivoja gladine tekočin s prepletenima vlaknoma. Z ustrezno obdelavo površine vlaken je mogoče izdelati senzor z veliko občutljivostjo in linearnim odzivom. Senzor je uporaben poleg merjenja nivoja gladine tudi za merjenje lomnih količnikov, oz. koncentracije različnih raztopin. Za vsako tekočino je potrebno senzor predhodno umeriti. Večji problem predstavlja omočenje sensorja, ki pa se



Slika 14: Odziv sensorja pri različnih koncentracijah raztopine NaCl v vodi (spremenjen lomni količnik)



Slika 15: Odziv sensorja v absorpcijskem mediju



Slika 16: Merjenje lomnega količnika

zmanjša z ustrezno izbiro števila ovojev obeh vlaken v senzorski glavi.

6. LITERATURA

1. J. E. Geake; Journal of Scientific Instruments, Vol. 31, p 260, 1954
2. R. Ulrich; Technische Messen, No. 9, p 313, 1986
3. J. Niewisch; Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Ber. Bd. 15, Nr. 3, 1986
4. K. Spenner, M. D. Sight, H. Schulte, H. J. Boehnel; I'st Conf. on Optical Fiber Sensors, London, IEE 221, p 96, 1983
5. K. Spenner; Technisches Messen, Vol. 51, No. 9, p-329, 84
6. D. A. Jackson; I'st Conference on Optical Fiber Sensors, London, IEE 221, p 100, 1983
7. J. P. Dakin, M. G. Holliday; I'st Conference on Optical Fiber Sensors, London, IEE 221, p 91, 1983
8. C. P. Yakymyshyn, C. R. Pollock; Journal of Lightwave Technology, Vol. LT-5, No. 7, p-941, 1987
9. A. T. Augousti, J. Mason, K. T. V. Grattan; Rev. Csi. Inst., Vol.61, No. 12, 1990
10. J. A. Morris, C. R. Pollock; Journal of Lightwave Technology, Vol. LT-5, No. 7, p-920, 1987
11. S. Ramakrishnan, R. T. Kersten; II'nd Conference on Optical Fiber Sensors, Stuttgart, VDE-Verlag Berlin, p 105, 1984
12. E. Smela, J. J. Santiago-Aviles; Sensors and Actuators, 13, p 117, 1988

as. mag. Alojz Suhadolnik
Univerza v Ljubljani Fakulteta za strojništvo
Murnikova 2
61000 Ljubljana

Marko Črnigoj, dipl.ing.
Fructal Ajdovščina
Tovarniška 7
65270 Ajdovščina

prof. dr. Janez Možina
Univerza v Ljubljani Fakulteta za strojništvo
Murnikova 2
61000 Ljubljana

Prispelo: 24. 02. 92

Sprejeto: 12. 04. 92